惑星へ
下
PALE BLUE DOT
A VISION OF THE HUMAN FUTURE IN SPACE
CARL SAGAN
カール・セーガン
森 暁雄［監訳］

カール・セーガン

1934年～96年。元コーネル大学教授、同大学惑星研究所長。マリナー、バイキング、ボイジャーなどNASAの惑星探査計画で指導的な役割を果たした。著書に『宇宙との連帯』(河出書房新社)『エデンの恐竜』(ピュリツァー賞受賞 秀潤社)『COSMOS』(朝日文庫)『サイエンス・アドベンチャー』(新潮社)『はるかな記憶』(アン・ドルーヤンとの共著 朝日文庫)などがある。

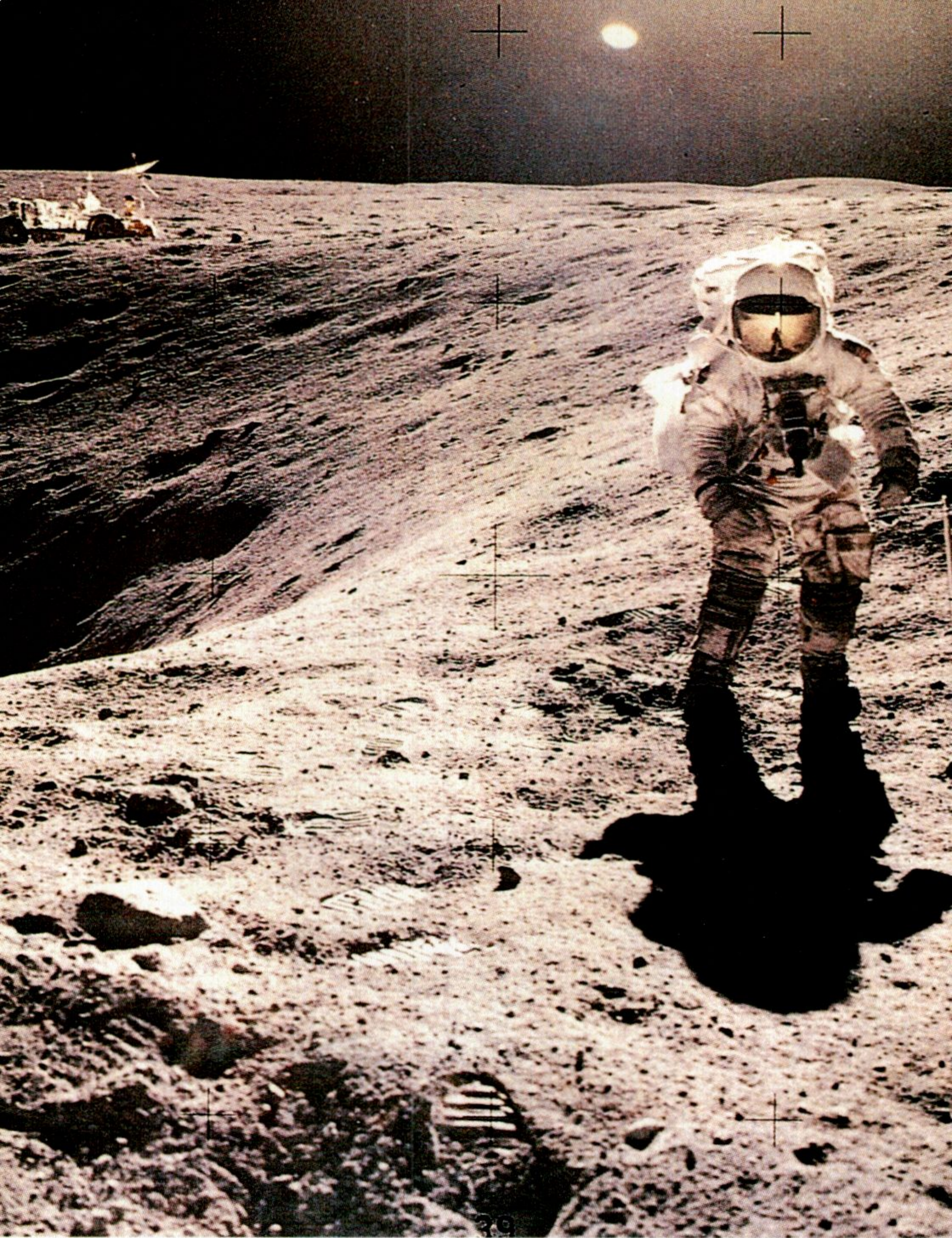
森暁雄(もり・あけお)

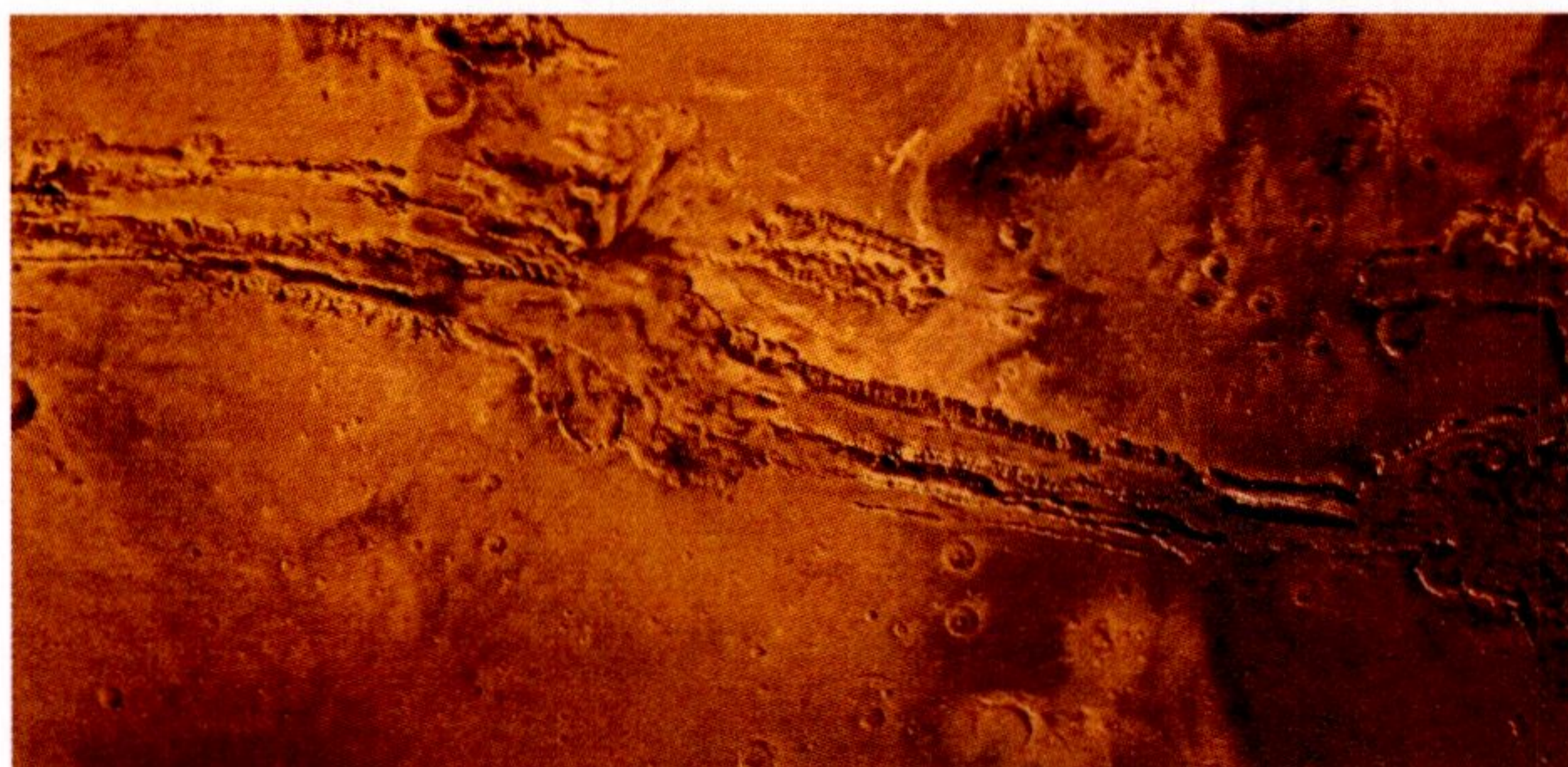
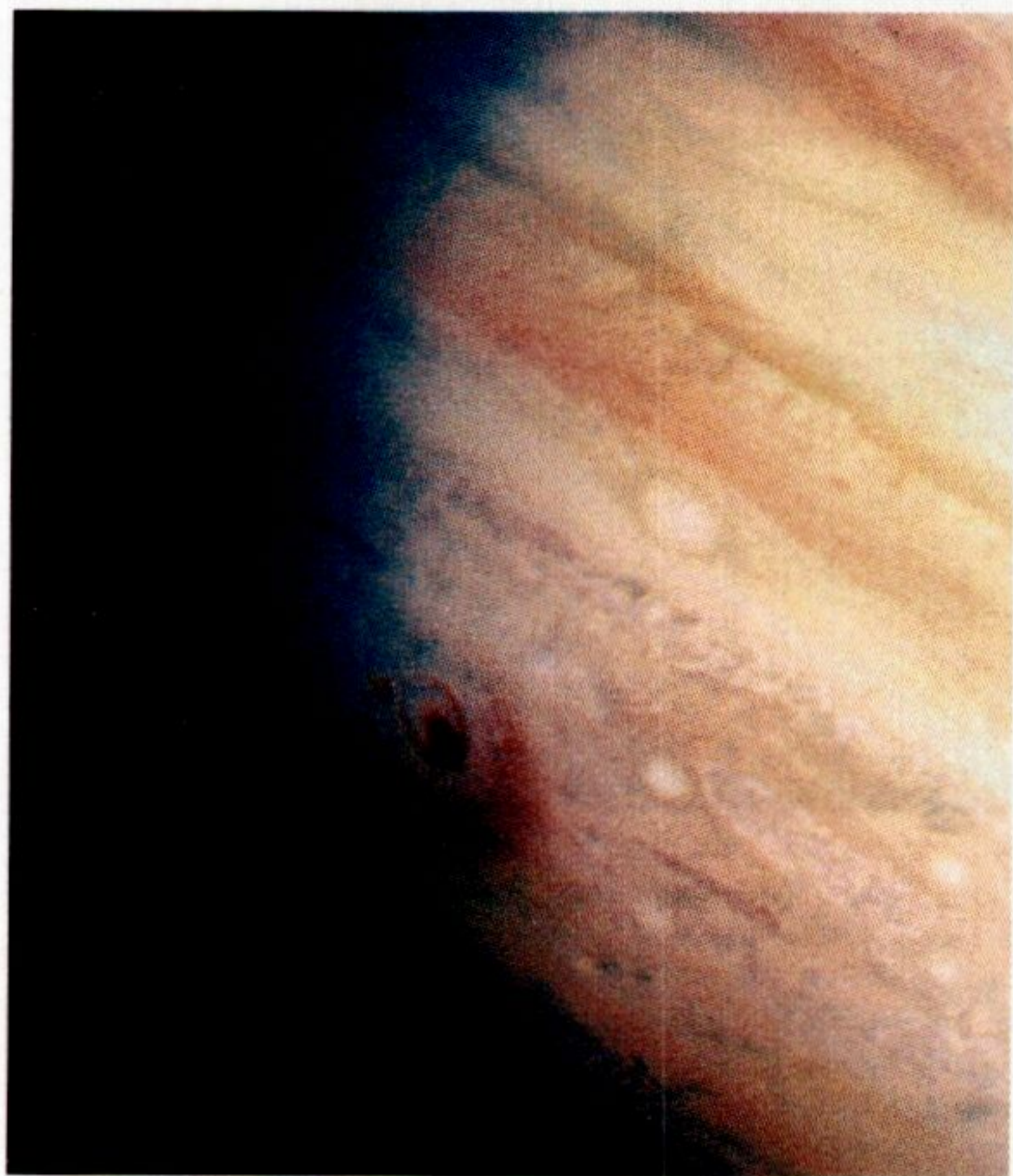
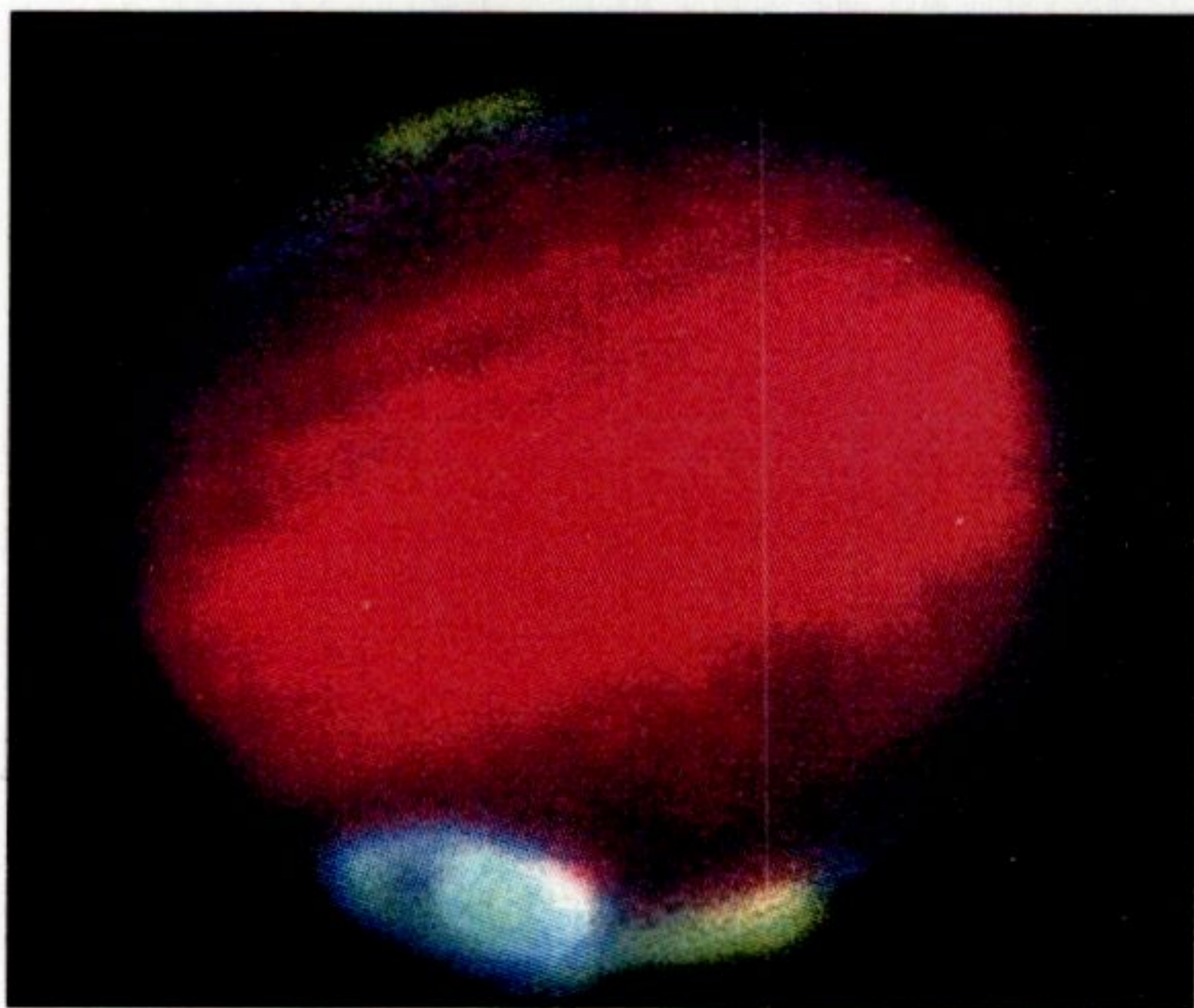
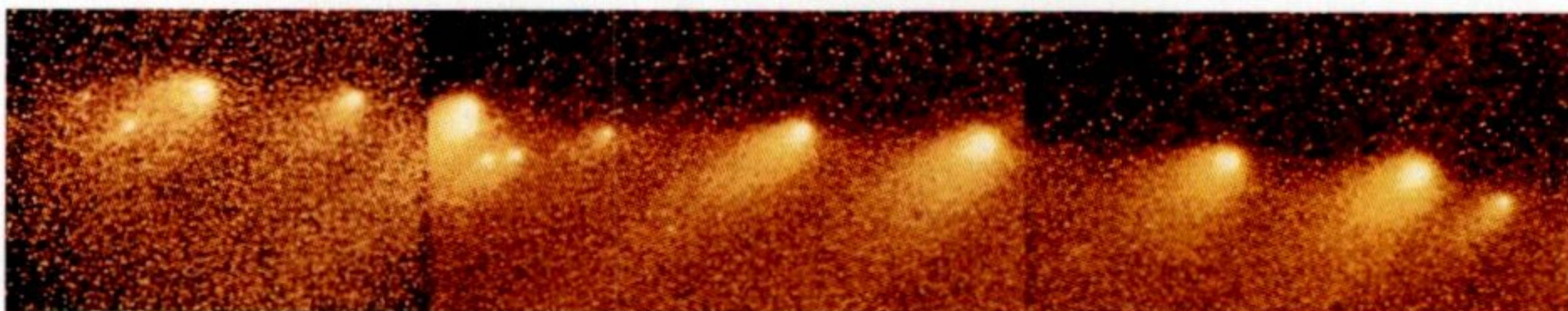
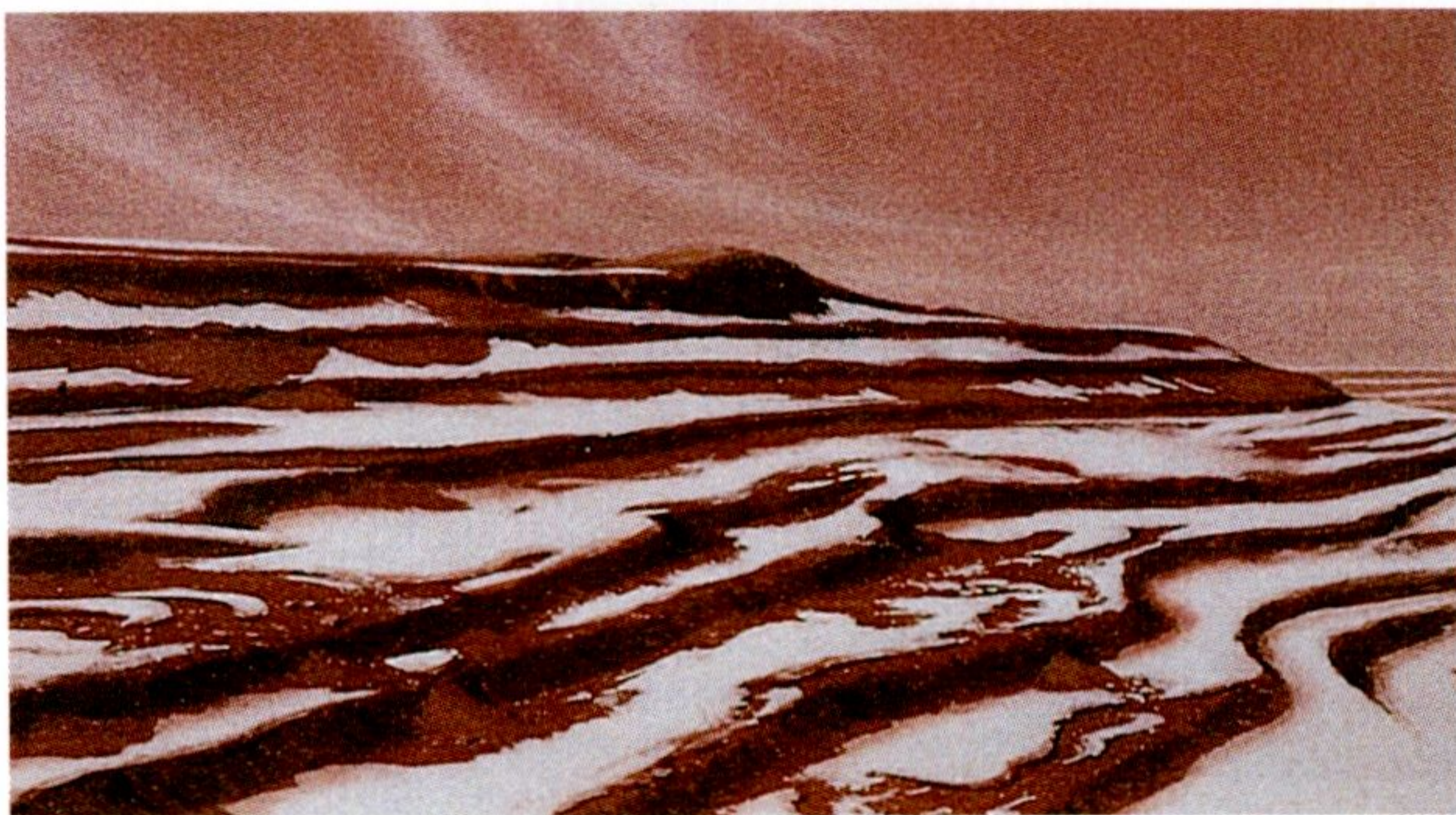
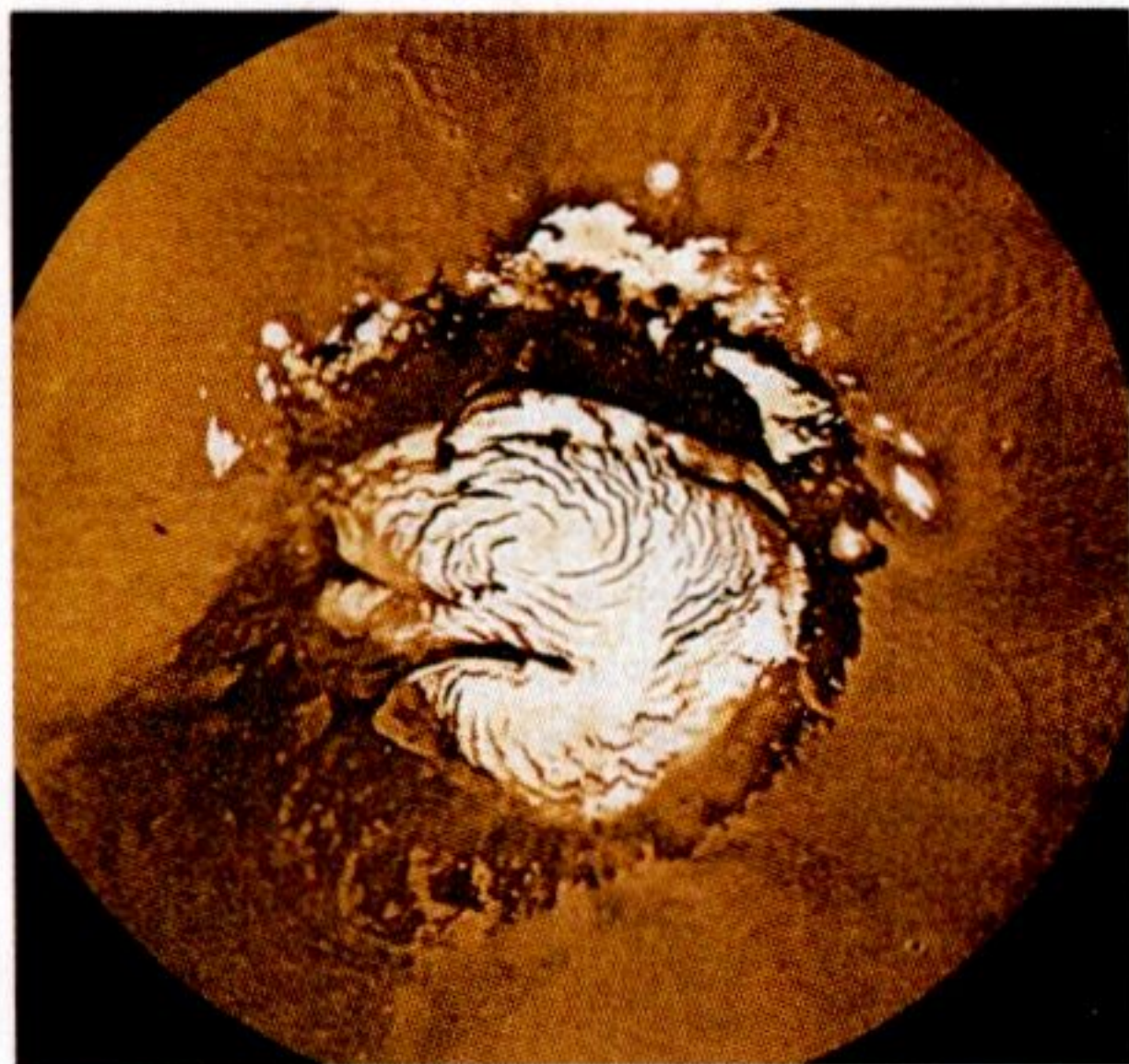
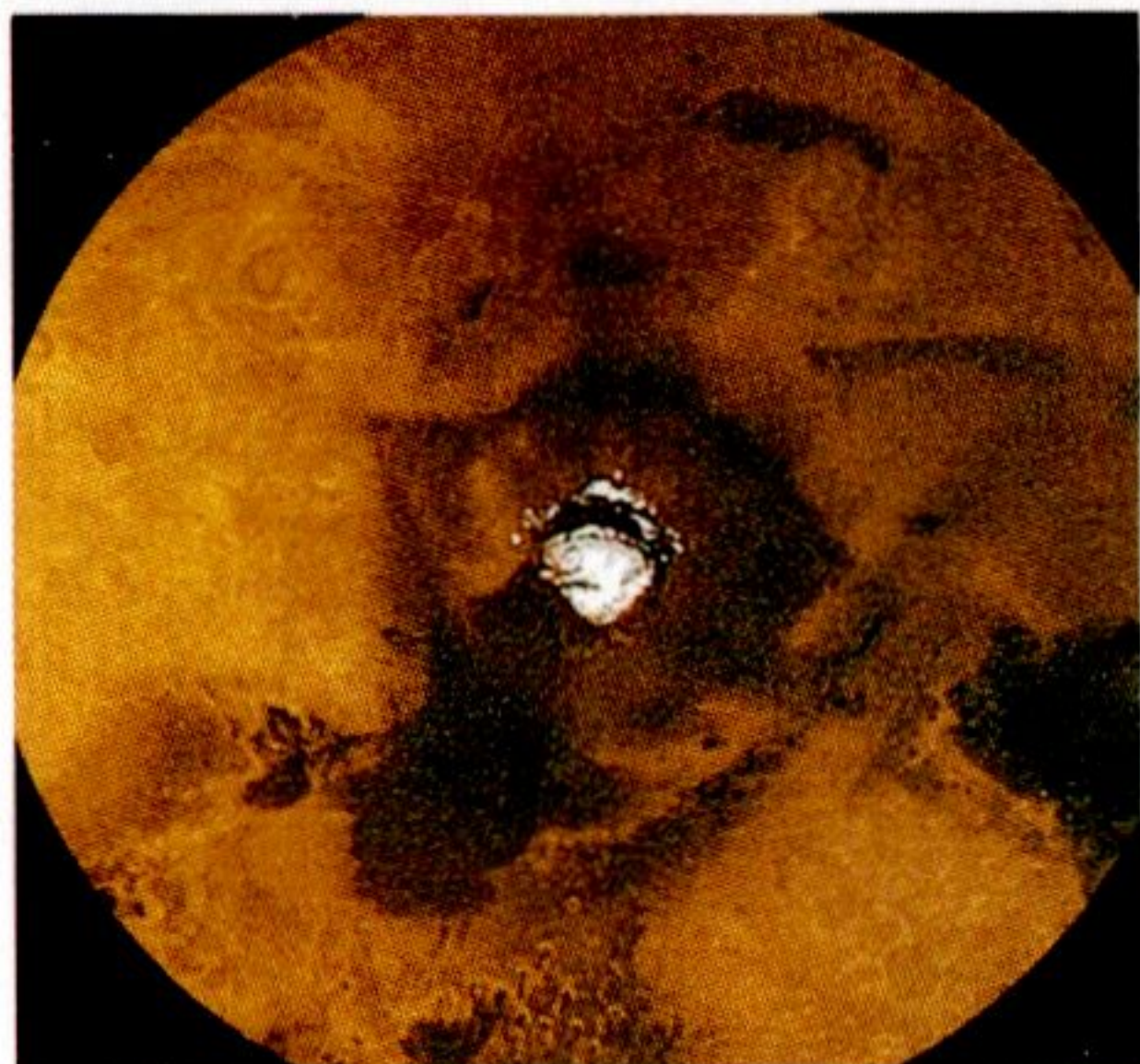
1937年生まれ。東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学分科卒業。「科学朝日」編集長、科学部長、調査研究室主任研究員などを経て、現在朝日新聞社友。訳書にコールダー『爆発する宇宙』(小尾信彌との共訳 朝日新聞社)ラーナー『望遠鏡の歴史』(同 朝倉書店)ライトマン『天文学の新時代』(朝日新聞社)などがある。

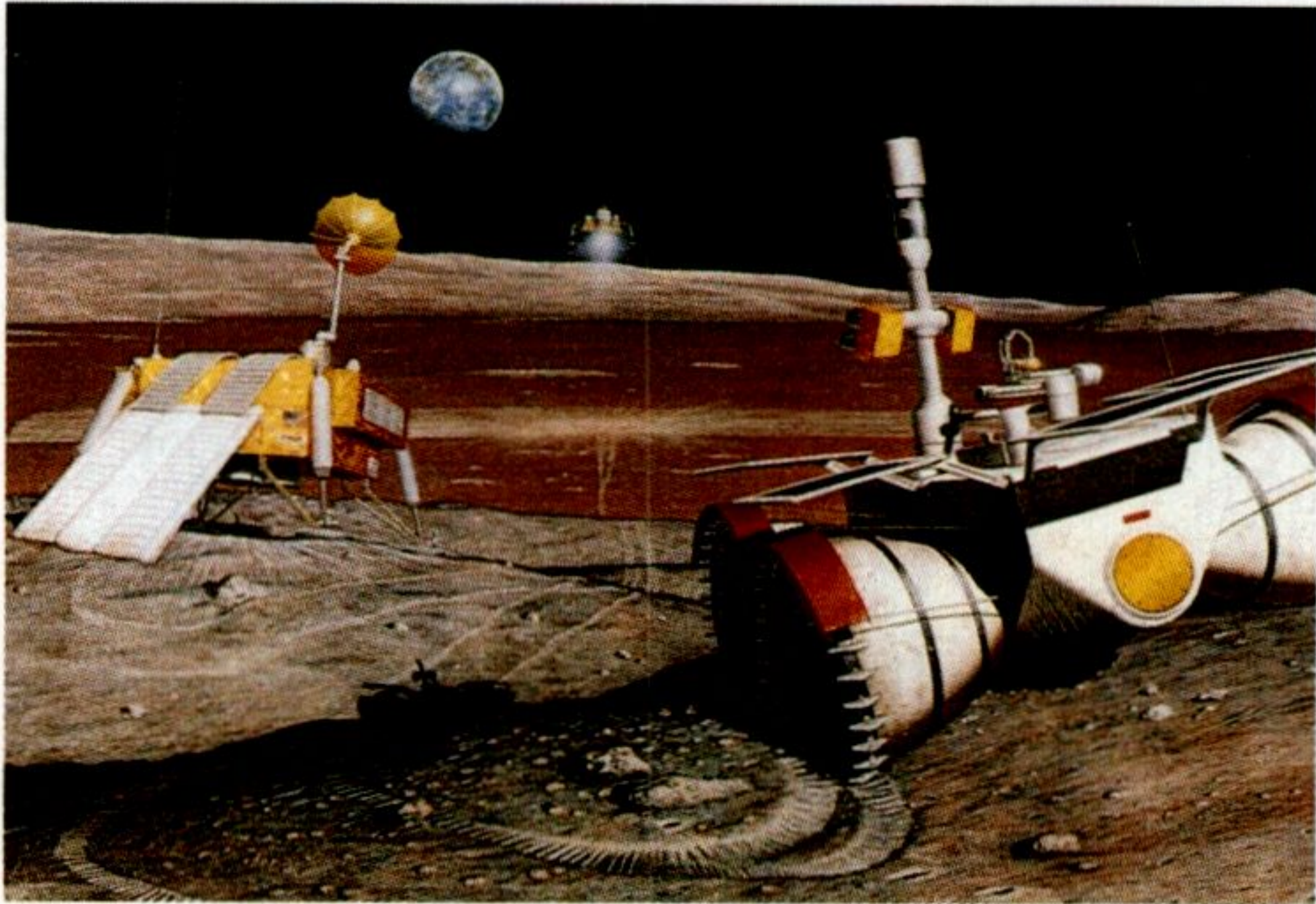
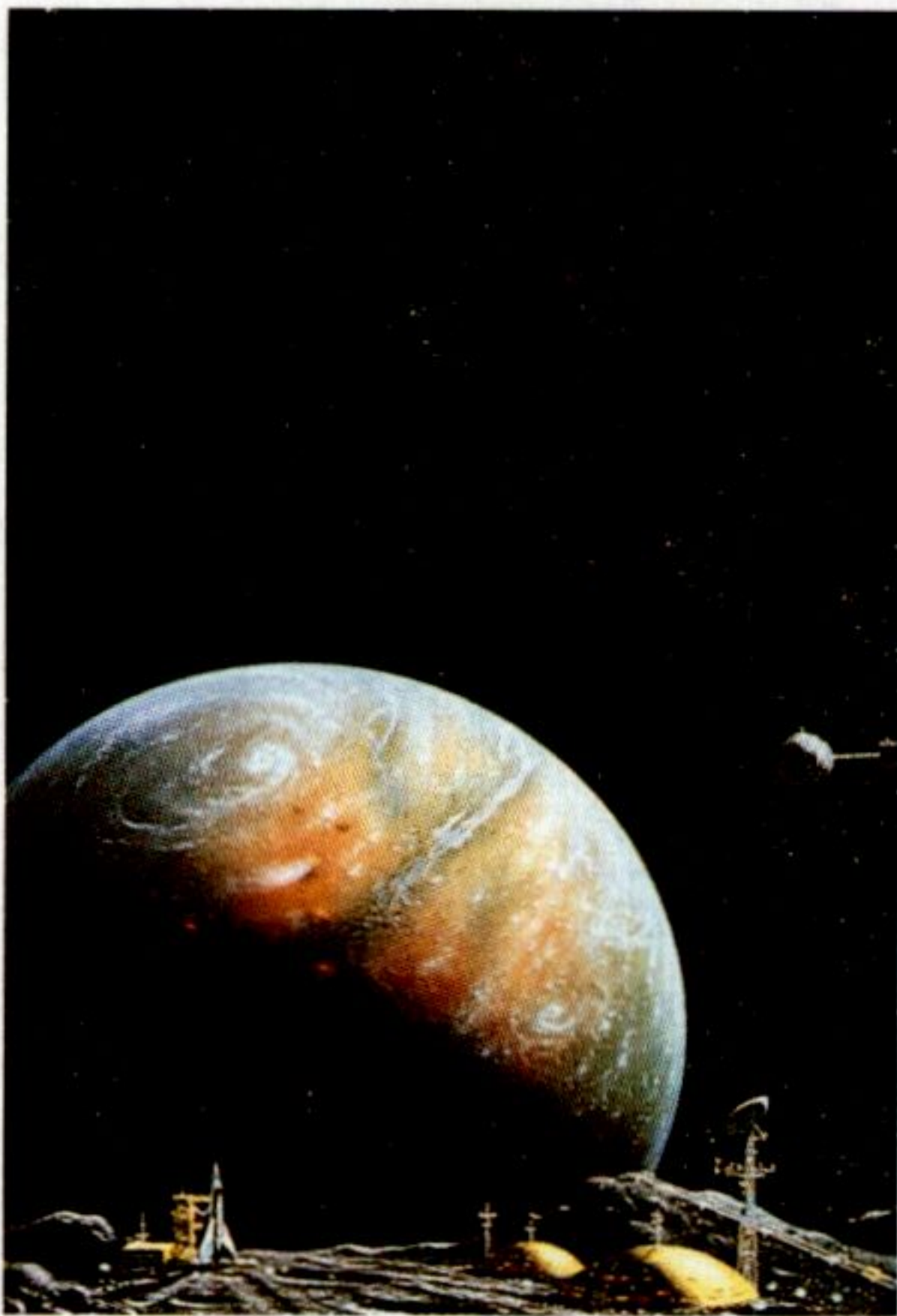
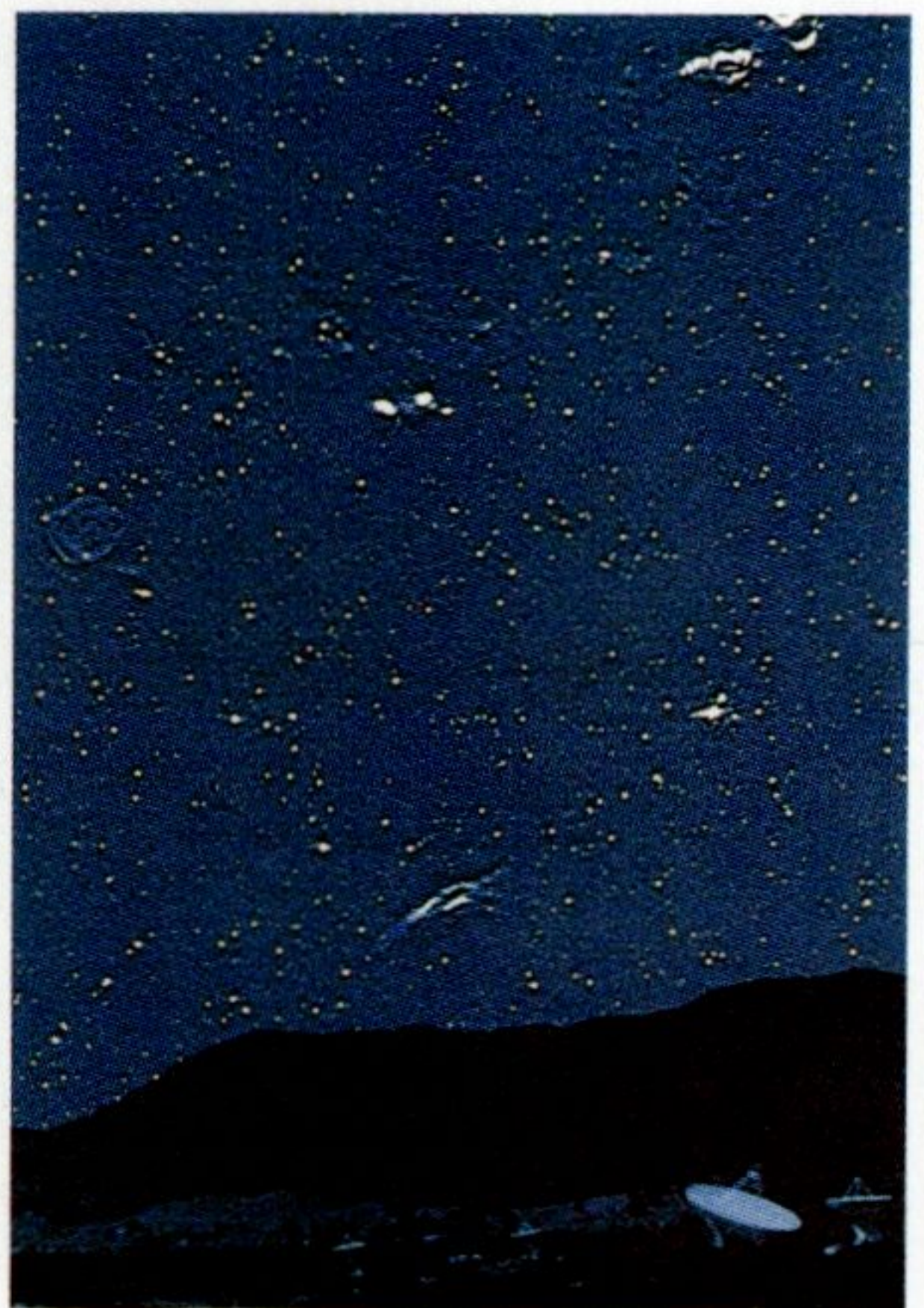
カバー装幀＝鈴木成一デザイン室
写真＝PPS通信社

惑星へ（下）

カール・セーガン
森 暁雄　監訳

朝日文庫

1　月面でポーズをとるアポロ16号の宇宙飛行士チャールズ・デューク

2　バイキング探査機が撮影した
火星のマリネリス大峡谷

3　1994年７月16～22日に木星に衝突したシューメーカー・レビー第９彗星
真珠のネックレスのように連なった破片（上)、最大のＧ核が衝突して輝く木星（中）と、あとに残った衝突痕（下）

4　火星の北極冠

上２点はバイキング探査機撮影。下は北極冠の段丘の想像図

5　月面でテストされる無人火星車（想像図）

7　火星の衛星フォボスから、
火星を見る（想像図）

6　夜空を探る電波望遠鏡。宇宙人か
らの電波を捕らえられるだろうか

8　何世代にもわたる旅の果てに、何光年も先の地球に似た惑星に、「小惑星宇宙船」が到着する（想像図）

惑星へ（下）　目次

惑星へ（下）

13 アポロの贈り物

広く天門を開き、
我乗る……
屈原『楚辞』「九歌」五「大司令」（中国、紀元前三世紀ころ）から。星川清孝訳

蒸し暑い七月の夜。ひじ掛け椅子でうとうとしていたようだ。突然、驚いて跳び起きる。どこにいるのか見当もつかない。テレビがついているが、音はしない。自分が見ているものが何か、懸命に理解しようとする。上下つなぎの仕事着にヘルメット姿の二つの幽霊のような白い人影が、漆黒の空の下で静かに踊っている。彼らは奇妙な跳びはねるようなしぐさをし、かろうじて見えるちりの雲のなかに身体が浮き上がる。しかし、何かが変だった。身体が落ちてくるのに、ひどく時間がかかるのだ。妨げられながらも、彼らは飛んでいるように見えた。ほんのわずかだけれど。目をこすってみた。しかし、夢のような画像はなお続いていた。

一九六九年七月二〇日、アポロ11号の月面着陸にまつわるさまざまな出来事のなかで、私

がもっとも鮮明に思い出すのは、その非現実性だ。ニール・アームストロングとバズ・オルドリンが、灰色のほこりっぽい月の表面を足をひきずりながら歩いていた。背後の空には大きな地球がぼんやりと浮かび、マイケル・コリンズが月の衛星となって、彼らの頭上で孤独な張り番をしながら軌道を回っていた。そう、確かにそれは技術の成果、米国の勝利であった。そう、確かに宇宙飛行士たちは死をも恐れぬ勇気を示した。そう、確かに、アームストロングが最初に降り立ったときにいったように、これは人類にとって歴史的な一歩だった。しかし、管制室と月の「静かの海」とのあいだで交わされる、きわめて現実的で事務的なやりとりの音を切り、白黒のテレビにじっと見入れば、私たち人間が神話と伝説の領域に一歩を踏み出したことを見て取ったはずだ。

月の存在はもちろん、はるか昔から知られていた。樹上生活者であった私たちの祖先が草原に下り立ったときにも、直立して歩くことを知ったときにも、そしてはじめて石器をつくり、火を使うことを覚えたときにも、農業を始め、都市を築き、地球を征服すべく旅立ったときにも、月はいまあるのと同じところにあった。民間伝承や流行歌は、月と恋愛との不思議な結びつきを語る。年月の「月」も週の二日目（月曜）を指す言葉も、月に由来している。上弦の月から満月、満月から下弦の月、そして新月に至る月の満ち欠けは、死と再生にかかわる天界の隠喩だと解釈されてきた。「月経」という言葉（ラテン語ではメンシス、月を表わす言葉で、もとは「測る」から転じた）が想起させるように、ほぼ同じ長さで起こる女性

上　月面に記された足跡。訪問者によって乱されることがない限り、アポロの月面探検の証拠は、100万年以上も残るはずだ。(NASA提供)

下　アポロ11号が撮影した、クレーターだらけの月の高地の写真。(NASA提供)

の排卵周期とも関係づけて考えられた。月光のなかで眠ると気が触れるといわれ、これは英語の「ルナティック（狂人）」という言葉を生んだ。古いペルシャの物語によれば、知恵者として知られる高官は、太陽と月とどちらがより役に立つかと聞かれて「月」と答えた。「太陽は、いずれにしても明るい日中に照るものだから」。私たちが野外で生活していたころ、不可解な存在ではあったが、月が私たちの生活に果たす役割は大きかった。

月は、手の届かないもののたとえでもあった。「まるで月を欲しがるみたいだ」と。あるいは、「月へ飛んでいけないのと同じように、そんなことはできない」と。私たちは長いこと、いったいそれが何であるのか、分かっていなかった。精霊？ 神？ 物？ それは、遠くにある大きいものではなく、近くにある小さいもののように見えた。たぶん、お皿くらいの大きさで、私たちの頭の少し上の空にかかっている何かのように見えた。古代ギリシャの哲学者たちは「月は、まさに見えるとおりの大きさである」かについて議論したが、視角の大きさと実際の大きさとの違いについては混乱していた。月の上を歩くなんて、変人の考えることだった。それよりは、はしごをかけるか巨大な鳥の背中に乗るかして空を上り、月をつかんで地球まで持ってくる方法を考えるほうが、まだ可能性があるように思われた。そのように試みた英雄に関する神話には事欠かないが、成功した者はだれもいない。

月は、三八万キロメートルものかなたにある「場所」であるという考えは、ほんの二、三世紀前まで、広く受け入れられることはなかった。そして私たちは、月の理解に最初の一歩

を踏み出してほどなく、その表面を歩き、跳びはねてみるところまで到達してしまった。私たちは、空間での物体の運動を計算し、空気中の酸素を液化し、大型ロケットや遠隔測定法、信頼性の高い電子機器、慣性誘導をはじめとする多くの技術を生み出した。そして、空へと旅立ったのだ。

運のよいことに、私はアポロ計画に携わることができた。しかし、すべての出来事はハリウッドの映画スタジオで創作されたものだと考える人々を責めるつもりはない。ローマ帝国の末期、異教徒の哲学者が、「地上のもの」はすべて重力に引っ張られることを理由に、キリストの昇天と死者の復活に関するキリスト教の教義を攻撃した。聖アウグスティヌスはこう答えた。「人間ですら、工夫すれば、水に沈む金属を使って水に浮かぶ船をつくりだすことができるのだから……、神が知られざる技によって、地上の物体を（地球に縛りつけている鎖から）解き放つことができて、何の不思議があろうか」。人間がいつの日か、そのような「技」を発見するなどとは、想像を絶することだった。しかし一五〇〇年後、私たちは、ついに自分自身を解き放ったのだ。

この業績に対する反響には、畏怖と懸念が入り交じっていた。バベルの塔の話を持ち出す人もいた。正統派イスラム教徒をはじめとする人々は、月面に足を踏み出すことを、人間の思い上がり、神への冒瀆と感じた。多くの人は、歴史の転換点として評価したのだが。

月はもはや、手の届かない存在ではない。一九六九年七月のあの夜以来、一二人の米国人

が、でこぼこでクレーターだらけの大昔の灰色の溶岩の上を、「ムーンウォーク」と呼ばれる奇妙な動きで歩き回った。しかし、一九七二年を最後に、どの国からもだれも、そこには戻っていない。というより、アポロの栄光の日以来、だれもどこへも行っていないのだ。よちよち歩きの子どもが二、三歩踏み出してみては、息もつかずに安全な母親のスカートの陰に戻ってくるように、地球の低軌道に出ることを除いては。

昔々、私たち人類は太陽系へと飛び出した。ほんの数年間のことだ。そして、急いでかけ戻ってしまった。なぜ？　何が起きたのか？　アポロとは、いったい何だったのだろうか？

一九六一年五月二五日、ケネディ大統領は上下両院の合同会議で「緊急の国家的課題」と題した演説を行ない、アポロ計画をぶち上げた。その広がりと大胆さに、私は目が眩む思いだった。まだ設計されてもいないロケットや、まだ想像したこともない合金、まだ考案されていない航法やドッキングのシステムを、知られざる天体に人を送り込むために使おうというのだ。その天体たるや、何の予備的なかたちでも、ロボットによってすら、まだ探査されたことはなかった。それなのに、送り込んだ人を無事に地球まで戻す、しかもそれを一九六〇年代のうちになし遂げようというのだ。この自信に満ちた宣言が発せられたとき、米国人はまだ、地球軌道にすら出ていなかった。

博士号をとりたてだった私は、これは根本的に科学にかかわる話だと思った。しかし、大統領は、月の起源を解明するとはいわなかったし、月の試料を研究用に持ち帰ることにもふ

れなかった。だれかを送り込んで無事に戻す、そのことにしか、大統領は関心がないようだった。いわば一種のジェスチャーだった。ケネディの科学顧問だったジェローム・ウィズナーは後年、大統領と取引をしたのだと私に語った。もし、ケネディが、アポロは科学に関するものだと主張しないのなら、彼、すなわちウィズナーは計画を支持すると。では、科学でないとすれば、いったい何なのか?

アポロ計画は政治そのものだと、別の人は私にいった。これはありそうに思えた。もし、米国が十分な「国家の勢い」を示さず、ソ連が宇宙開発で先行していたら、非同盟諸国はソ連寄りの姿勢をとるようになるだろうというのだ。しかし、私はそうは思わなかった。米国は現に、事実上すべての技術分野でソ連より優位に立っており、経済的、軍事的、そしてときには道徳的にも世界の指導的地位にあった。ユーリ・ガガーリンが地球軌道を回る競争でジョン・グレンに勝ったからといって、インドネシアが共産化するなどということがあり得るだろうか。では、何がそれほど宇宙技術を特別なものにしているのだろう。突如として、私は理解した。

人を地球軌道に乗せたり、ロボットを太陽を回る軌道に乗せるには、大型で信頼性が高く、推力の大きいロケットが必要になる。その同じロケットは核戦争にも使える。人を月へ送るのと同じ技術で、核弾頭を地球半周させることができるのだ。天文学者や望遠鏡を地球軌道に運ぶ技術で、レーザー兵器を配置することができる。当時すでに、東側西側を問わず軍事

関係者のあいだでは、新たな進出目標としての宇宙や、宇宙を制した者が地球を制するといった、空想に近い会話が交わされていた。もちろん、戦略ロケットは地上で試験されていた。しかし、模擬弾頭をつけた弾道ミサイルを太平洋の真ん中にある目標地域に向けて飛ばすというのは、さほど格好のよいことではない。人を宇宙に送り込むといえば、世界中の注目を集め、想像力をかきたてることができる。

この目的のためだけに宇宙飛行士を打ち上げるというのでは、金を出そうという気にはならないだろうが、ロケットの効用を訴える手段としては、これが一番有効だった。それは、国家の「男らしさ」を示す儀式だった。ロケットのかたちを見れば一目瞭然で、説明する必要はなかった。何が進行中なのかだれも気づかないうちに、暗黙の意思伝達が行なわれているように見えた。

いま、宇宙科学のための一ドル一ドルに汲々としている私の同僚たちは、アポロの栄光の日々とその直前、「宇宙」のために予算を獲得するのがいかに容易だったかを、もう忘れてしまったかもしれない。そこで、一九五八年、最初の人工衛星スプートニク1号が打ち上げられた数カ月後に下院の国防費歳出小委員会で行なわれたやりとりを見てみよう。証言しているのは空軍次官のリチャード・S・ホーナー、質問者はペンシルベニア州選出で民主党所属の下院議員ダニエル・J・フラッドである。

ホーナー　月へ人を送ることが、なぜ、軍事的見地からみて望ましいのか。一つには、古典的理由だが、それがそこにあるから。また一つには、ソ連が先に到達して、私たちがまだ知らない利点に気づくのではないかという懸念もあります……。

フラッド　あなたが必要だという金額を、その多少にかかわらず提供すれば、空軍はクリスマスまでに、何かを月にぶつけることが可能でしょうか。

ホーナー　できると思います。こうしたことには必ずある程度の危険が伴いますが、私はできると思います。

フラッド　今日の真夜中から始めて、クリスマスに米国国民に月のひとかけらをプレゼントするために必要なカネ、モノ、ヒトを、空軍あるいは国防総省のだれかに要求したことはありますか。

ホーナー　そうした計画を国防長官のところに提出しました。現在、検討されているところです。

フラッド　議長、いまただちに、国防長官の決定を待つことなく、追加予算を組んで、彼らにそれを与えることに、私は賛成します。彼が本気で、しかも彼が自分の述べたことの意味を分かっているのであれば、私はそう信じますが、本委員会は本日、五分以上待ってはなりません。ほかの人がどういおうと何を望もうと、彼が必要とする、カネ、モノ、ヒトのすべてを彼に与えるべきです。そして、これから始めて、文句なくやりとげるよう、

彼に命ずるべきです。

ケネディ大統領がアポロ計画を練り上げた当時、国防総省には進行中の宇宙計画が数多くあった。軍人を宇宙へ送り、地球軌道を周回させる方法の開発や、敵国の人工衛星や弾道ミサイルを撃ち落とすために軌道上の基地に配置するロボット兵器などだ。アポロがこうした計画にとってかわり、これらの計画は実現に至らなかった。とすると、米国とソ連の宇宙開発競争を軍事から民間技術の領域へ転換させるという、もう一つ別の目的のためにアポロが役立ったといえるかもしれない。ケネディには、宇宙での軍拡競争のかわりにアポロ計画を推進しようという意図があったのだと信じる人もいる。そうかもしれない。

歴史上、このことについてのもっとも皮肉な証拠物件は、リチャード・M・ニクソン大統領が署名し、アポロ11号によって月面へと運ばれた銘板だと私は思う。それにはこう書かれている。「われわれは全人類のために、平和裡にここへ来た」。アメリカ合衆国がベトナム戦争で東南アジアの小国に七・五メガトンもの通常爆弾の雨を降らせている一方で、私たちは、私たち自身の人間性を喜び祝福していたのだ。私たちは、生命のいない岩の上ではだれも傷つけることはない。その銘板はアポロ11号の月着陸船にとりつけられ、いまもなお、「静かの海」の空気のない荒涼のなかにある。もし、だれもそれをいじらなければ、一〇〇万年たってもその銘文を読むことができるだろう。

着陸した。アポロ11号のあと、六回の月飛行が行なわれ、うち一回を除いてはすべて、無事に月面に着陸した。アポロ17号ではじめて、科学者が参加した。彼が月面に着くや否や、計画は打ち切られた。月に着陸した最初の科学者は、月に着陸した最後の人間となった。一九六九年七月のあの夜、アポロ計画の目的はすでに達成されたのだ。六回の飛行はいわば、惰性で行なわれたのだ。

アポロの主目的は、科学ではなかった。宇宙ですらなかった。アポロの背後にあったのは、イデオロギー対立と核戦争、遠回しに世界の「主導権」とか国家的「威信」といわれるところのものだった。それでもなお、アポロは宇宙科学のすぐれた成果をもたらした。私たちはいま、月の組成や年齢、歴史、地形の成因について、以前よりはるかによく分かっている。月はどこから来たのか、それについての理解も進んだ。月のクレーターの統計を、生命が誕生した当時の地球を理解するために利用する研究者もいる。しかし、何よりも重要なのは、きわめて精巧なロボット探査機が太陽系に向けて打ち出され、何十という天体の基礎的な観測を行なっていることの背景にあって、アポロはそうした計画を保護する傘の役割を果たしたことだ。アポロの子孫たちがいま、惑星空間のフロンティアに到達しているのである。

もしアポロがなければ、さらにいえば、もしアポロが貢献した政治的目的がなければ、米国の歴史的な太陽系探査やそれによる発見はなかったのではないかと私は思う。マリナー、バイキング、パイオニア、ボイジャー、そしてガリレオなどの探査機は、アポロの贈り物の

一部だ。マゼランやカッシーニはさらに遠い子孫だ。同様のことは、月や惑星への最初の軟着陸に成功したルナ9号、マルス3号、ベネーラ8号など、旧ソ連の先駆的な太陽系探査についてもあてはまる。

アポロは、自信と行動力、そして人類の視野を広げる役割を担って宇宙を飛び、世界中の人々の想像力をまさに虜にした。それもまた、目的の一部だった。技術に対する楽観論や、未来への待望論も生んだ。月へ行けるなら、ほかにもできることがあるはずだ。多くの人がそう考えた。米国の政策や行動に批判的な人であっても、あるいは、米国人を毛嫌いする人であっても、アポロ計画が独創的、かつ英雄的であることは認めるはずだ。アポロによって、米国は偉大さを示すことができたのだ。

大旅行に備えて荷作りをしているとき、先に何が待っているかは分からない。アポロの宇宙飛行士は、月への行き帰りに、彼らの故郷である地球の写真を撮った。ごく自然な行為であるそのことが、予期せぬ結果をもたらした。地球の住人ははじめて、自分たちの住む天体をはるかな高みから眺めたのである。宇宙の広大な暗黒を背景にした、自転する美しい白と青の球としての地球全体を、カラー写真で。これは、私たちの地球人としての自覚を呼び覚ますのに貢献した。つまり、私たちが脆弱な惑星を共有しているという、疑いようもない証拠を突き付けたのだ。そして、何が重要で何が重要でないのかを、私たちに思い起こさせた。それは、ボイジャーの「暗い青い点」の先駆となったのである。

ほかならぬ私たちの技術によって、地球上に住めなくなるかもしれない危険が生じているいま、私たちはちょうどいいタイミングでこうした見方を学んだのかもしれない。アポロ計画を始めた最初の理由が何であれ、またそれが冷戦下のナショナリズムや死の兵器とかかわりがあろうと、地球が一つであり、いかに壊れやすいかをはっきり認識させたことは、アポロ計画の明瞭で輝かしい成果、アポロの予期せぬ最後の贈り物である。激しい競争のなかで始まったことが、私たちの生存には地球規模での協力が欠かせないことを理解させるのに役立ったのである。

旅することは、視野を広げること。

いまや、再び旅に出るときなのだ。

14

惑星に学ぶ

さまざまな発展段階にある惑星にも、
この、地球を形成したのと同じ力が働いているから、
地形の形成や生命の誕生すらも、
地球の過去やおそらくは未来と同じように行なわれるだろう。
しかし、さらに遠くへ行くと、
こうした力が、地球とはまったく違う条件の下で働いている場合もあり得る。
したがって、私たち人間が知っているのと違うかたちの進化があるに違いない。
こうしたことが、いかに比較科学にとって大切か、
それはあまりに明白で、論を待たない。
ロバート・H・ゴダード「覚え書」（一九〇七年）から

生まれてはじめて、私は地平線が湾曲しているのを見た。
それは、濃い青色をした薄い層、つまり私たちの大気によって、強調されていた。
この層は、これまでたびたびいい聞かされてきたような、
空気の「海」などではまったくなかった。
それは、いまにも壊れそうに見え、私はこわくなった。
スペースシャトルに乗ったドイツ人宇宙飛行士、ウルフ・メルボールトの言葉（一九八八年）

地球軌道の高さから地球を見下ろすと、暗黒の真空のなかに浮かんだ、愛らしく壊れそうな天体が目に入る。しかし、宇宙船の窓から地球の一部分を見るその感動は、ごくささやかなものなのかもしれない。真っ黒な宇宙を背景に浮かんだ地球全体の姿を見たり、さらに望ましくは、宇宙空間に浮かびながら、宇宙船に邪魔されることなく視野のなかを横切る地球を眺めることの喜びに比べれば。人類で最初にこうした体験をしたのは、一九六五年三月一八日、ウォスホート2号を離れて、宇宙遊泳をしたアレクセイ・レオーノフだ。彼はこう回想する。「地球を見下ろして、最初に私の脳裏に浮かんだのは、『やはり、地球は丸い』ということだった。ジブラルタルからカスピ海まで、一目で見渡すことができた。……私は自分が鳥になり、羽で飛んでいるような気がした」

アポロの宇宙飛行士たちのように、さらに遠くから地球を見ると、どうだろうか。遠ざかるにつれて地球はだんだん小さくなり、わずかな地形が分かるだけになってしまう。そして、それがいかにそれだけで完結しているかに驚くに違いない。時折、水素原子が宇宙空間へと逃れてゆく。また、パラパラと彗星のちりが落ちてくる。太陽の奥深くにある巨大熱核融合炉で静かに生まれた太陽光線が四方八方に広がり、地球はその一部、わずかな照明と私たちが必要とするささやかな熱の分だけを受け取る。それらを除けば、この小さな天体はそれだけで独立している。

月面からは、おそらく三日月形に欠けた地球を見ることができるだろうが、もはや大陸すら見分けがつかない。太陽系でもっとも外側にある惑星の見晴らし台に立つと、地球は単なる薄暗い光の点でしかない。

地球軌道から眺めると、地平線にやさしげな青い円弧が見える。地球の薄い大気の層である。地域的な環境問題などというものがなぜ存在し得ないのか、すぐ分かるはずだ。分子は愚かな存在だ。なぜなら、産業が生み出す有毒物や温室効果ガス、地球を守っているオゾン層を破壊する物質は、その途方もない無知のために、国境というものをまったく気にかけない。国家の主権のことも、ともすれば忘れてしまう。その結果、ほとんど神話的といえるほどの私たちの技術の力と、目先ばかりにとらわれた考え方の横行とによって、私たちは大陸的および地球的な規模で、自分自身に危険を及ぼし始めている。つまり、もし、こうした問

題を解決しようというなら、多くの国が何年にもわたって協力し合わなければならないのだ。
私はここで、国家主義的な競争意識や憎悪のなかで計画された宇宙飛行が、国境を取り払うという驚くべき見方をもたらしたことの皮肉に、改めて思いを致す。たとえどんなにわずかな時間でも、地球軌道から地球を見つめてみるならば、いかに深く染み込んだ国家主義であろうと、薄らぎ始めるに違いない。国家主義など、干しブドウについたダニの言い争いでしかないように見えてくる。
一つの天体にとどまる限り、私たちはただ一つの事例に縛られることになる。ほかにどんな可能性があるのかも分からない。そうすると、エジプトのファイユームの墓地の絵だけしか知らない美術愛好家や臼歯のことしか知らない歯医者、新プラトン主義のみを学んだ哲学者、中国語しか知らない言語学者、重力といえば地球上で落下する物体の知識しか持ち合わせていない物理学者のように、私たちの物の見方は近視眼的で狭く、予測する能力も限られたものになってしまう。逆に、私たちが別の天体を探検するとしたら、かつてはそれ以外にあり得ないと思われていた惑星のあり方も、実は、幅広い可能性のなかの一つでしかなかったことが分かる。ほかの天体に目を向けると、ある物が過剰になったり、また別の物が少な過ぎたりすると、いったいどういうことになるのか、私たちにも分かり始める。私たちは、惑星がいかにして狂い始めるかを学ぶ。宇宙飛行の先駆者だったロバート・ゴダードが予見したように、私たちは、比較惑星学という新しい学問を手に入れたのだ。

ほかの天体の探査は、火山や地震、気象研究の分野で私たちの目を見開かせた。いずれは生物学の分野でも、深く学ぶことが現われるに違いない。地球上の生物は共通の生物化学的法則のもとでつくられているから、もし、地球外の生命体がたった一つでも見つかれば、たとえそれがバクテリアのように単純なものであっても、生物の概念を革命的に変えるだろう。ほかの天体を探査することと、地球というこの天体を守ることがどう結びつくかは、地球の気候の研究と、その気候を脅かしつつあるものの研究を見れば、明らかだろう。その脅威の増大は、私たちの技術がもたらしているのである。地球上でどのような愚かなことをしてはならないのか、ほかの天体がきわめて重要な示唆を与えてくれるはずだ。

地球規模での環境破壊をもたらす脅威が三つ、最近、明らかになっている。オゾン層の破壊と地球の温暖化、そして核の冬である。この三つの発見はいずれも、惑星探査と深く結びついている。

1　冷蔵庫やエアコンの冷媒体、防臭剤スプレーなどのエーロゾル発射剤、ファストフードの発泡容器、マイクロエレクトロニクスの洗浄剤など、多くの用途に使われている不活性物質が、実は地球上の生物に危険をもたらしている。これは、憂鬱な発見だった。だれが、こんなことを想像しただろうか。

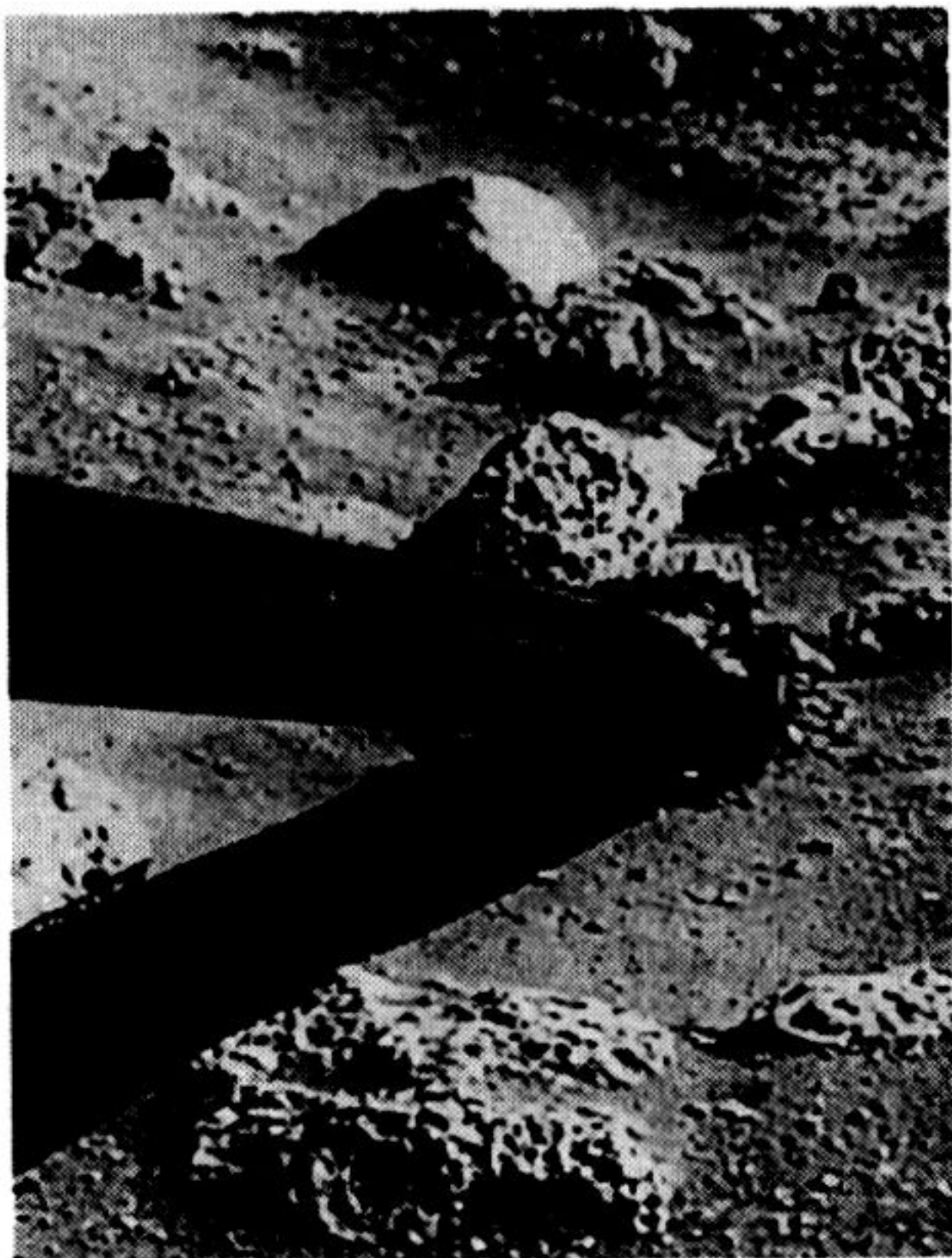
問題の分子は、フロン（クロロフルオロカーボン＝ＣＦＣ）である。化学的にはきわめて不活性、すなわち壊されにくく、オゾン層まで上がっていく。そこではじめて太陽からの紫外

線で分解され、塩素原子を放出する。その塩素が、オゾンを攻撃して分解し、結果的により多くの紫外線が地上まで降り注ぐことになるのだ。紫外線強度の増加は、皮膚癌や白内障だけでなく、ヒトの免疫力の低下を含む一連の悪影響をもたらす恐れがある。さらに、農業や、食物連鎖の最初に位置して地上の多くの生物が依存している光合成植物にも害を与えかねない。これがもっとも危険なことかもしれない。

では、だれが、フロンがオゾン層を破壊する危険があることを発見したのか。主要な製業者であるデュポン社が、会社の責任において？　環境保護局が私たちを守るために？　国防総省が私たちを防衛するために？　そうではない。象牙の塔の、白衣を着た二人の研究者が、別の研究をしていて見つけたのだった。東部の名門アイビーリーグの大学ですらない、カリフォルニア大学アーバイン校のシャーウッド・ローランドとマリオ・モリナである。環境に対する危険物を探すよう、だれかにいわれたわけではなかった。彼らがしていたのは、基礎研究だった。科学者として、彼ら自身の関心を追求していたのだ。彼らの名前を、子どもたちすべてが記憶しておくべきだろう。

ローランドとモリナのもともとの計算には、一部ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）の支援を得て測定された塩素やその他のハロゲン元素を含む化学反応の速度定数が使われた。なぜＮＡＳＡなのか？　それは、金星の大気に塩素とフッ素の分子が含まれており、惑星科学者たちは、そこで何が起きているかを知ろうとしていたからだ。

フロンのオゾン層破壊を確認し理論づける研究は、ハーバード大学のマイケル・マッケロイたちによって行なわれた。では、こうしたハロゲンの反応速度論の計算が、彼らのコンピュータですぐさまできたのはなぜか？　それは、彼らがもともと、金星大気における塩素とフッ素の化学的研究を進めていたからだ。つまり、地球のオゾン層が危機に瀕しているという発見とその理論づけの双方に、金星が役立ったのだ。二つの惑星の大気の光化学のあいだに、まったく予期しなかった関連が見つかった。地球上に住むすべての人にとって重要な結果が、別の天体の上層大気に含まれる微量成分の化学を明らかにしようという、非常に抽象的でまず実用とは無関係に見える研究から出てきたのだ。

火星とも関係がある。バイキングによる探査で、火星の表面にはまったく生物はおらず、簡単な有機分子すら見当たらないことが分かった。しかし、近くの小惑星帯から有機物を含む隕石が飛んでくることを考えれば、簡単な有機分子くらいはあってしかるべきだった。それがなかったのは主に、火星にはオゾン層がないためだと考えられている。バイキングの微生物学実験で、地球から火星へと運ばれて火星表面の砂の上にばらまかれた有機物は、すぐに酸化され、壊されてしまうことが分かった。砂のなかにあって有機物を分解してしまったのは、酸化することによって微生物を殺すので私たちが殺菌剤として使う、過酸化水素に似た分子だった。太陽からの紫外線は、オゾン層に邪魔されることなく、火星表面に到達する。もし、そこに何らかの有機物があったとしても、紫外線そのもの、あるいは紫外線によって

紫外線で灼かれる火星の土。左の写真では、バイキングのアームが、多孔質の小さい石をどかして土を掘り出そうとしている。右はその跡。採取された試料は、バイキング機内で分析されたが、有機物は、まったく見つからなかった。地球と違って、火星には、オゾン層の保護がない。(NASA提供)

酸化された物質によって、ただちに分解されてしまう。つまり、火星の土壌の最上層が殺菌性を持っている理由の一つは、火星には惑星規模でのオゾンホールがあるためだ。これは、自分たち自身のオゾン層をせっせと薄くし、穴を開けようとしている私たちへの、よい教訓である。

2 地球の温暖化は、主として化石燃料の燃焼で生じる二酸化炭素による温室効果の増大ばかりでなく、窒素酸化物やメタン、フロンなど赤外線を吸収する気体の蓄積によっても促進されると考えられている。

地球の気候についての、三次元の大循環モデルがコンピュータ上にあると仮定しよう。プログラマーは、それを使って、大気中のある成分が過剰になったり、または不足した場合には、地球がどうなるか、予測できるというだろう。そのモデルは、現在の気候を「予測」するのは、非常に得意だ。しかし、心配はある。このモデルは、正しい結果が出るよう調整されている。つまり、物理学の基本原理によってではなく、正しい答えを得るという目的のために、あるパラメーター（媒介変数）が選ばれているのだ。これは、決して欺瞞というわけではないが、もし同じコンピュータモデルを、たとえば地球温暖化が相当進んだ状態など、かなり異質の気候に適用しようとすると、その調整が適切ではなくなるかもしれない。このモデルは、今日の気候には有効かもしれないが、それ以外の気候を推定するのには向いていないのだ。

このモデルを検証する一つの方法は、それをほかの天体のまったく違う気候に適用してみることだ。火星の大気の構造や気候を予測することができるか？　天気は？　金星はどうだろう？　もし、そのような場合にうまくいかないなら、地球に関する予測を行なううえでも、このモデルを過信していたことになる。実際には、私たちがいま使っている気候モデルは、物理学の基本原理によって金星や火星の気候をうまく予測することができる。

地球では、溶岩の大規模な上昇が知られており、それは、地中深くのマントルから対流によって上昇し、冷えた玄武岩の広大な台地をつくる「スーパープルーム」によるものと考えられている。その典型的な例は、一億年ほど前に起こり、おそらく現在の一〇倍もの二酸化炭素を大気中に放出して相当な温暖化を招いたと考えられている。こうした「プルーム」は、地球の歴史を通じて、しばしば起きたらしい。同様のマントルの上昇は、火星や金星でも起きたとみられる。したがって、どうして足元何百キロもの地下から突然、地球表面と気候の大変動が何の前触れもなく現われることになるのか、その過程を知っておきたいと思うのは、十分に理由のあることなのだ。

地球温暖化に関する最近のもっとも重要な研究のいくつかは、ニューヨーク市にあるNASAの施設、ゴダード宇宙科学研究所のジェームズ・ハンセンたちによって行なわれた。ハンセンは、コンピュータによる気候モデルの一つを開発し、それによって、温室効果気体がこのまま増えつづけたら地球の気候はどうなるのか、予測した。彼は、こうしたモデルを地

球の古代の気候で検証するという仕事の先頭に立っていた。興味深い事実を一つあげると、最後の氷河期には、二酸化炭素やメタンの増加と温度上昇が驚くほどの相関を示したということがある。ハンセンは、今世紀と前世紀の気候のデータを幅広く集め、地球の温度が実際どうだったのかを調べる一方、コンピュータモデルによればどうなったかという予測と、照らし合わせた。この両方は、それぞれ測定と計算の誤差の範囲内で一致した。彼は、不確実性を強調し、危険性は最小限に見積もるようにというレーガン政権下のホワイトハウスの行政管理予算局からの政治的な要請などものともせず、議会で勇気ある証言を行なった。フィリピンのピナツボ火山の噴火によって地球の気温は一時的に摂氏約〇・五度低下するという彼の予測は、ぴたりと当たった。彼は、地球の温暖化は深刻に受けとめるべき問題であることを、世界各国の政府に納得させる原動力となった。

では、ハンセンが最初に温室効果に関心を持ったきっかけは何だったのか。彼が一九六七年にアイオワ大学で書いた博士論文のテーマは金星だった。彼は、金星の電波強度が大きいのは表面が高温なためであり、かつ、温室効果ガスが熱を閉じ込めているということは認めつつ、しかし太陽光線ではなく内部からの熱が主要なエネルギー源であると提案した。七八年、パイオニア12号は金星の大気中に観測装置を投下し、金星の表面が太陽によって暖められ、その熱が大気の毛布によって保たれているという、一般的な温室効果が金星を支配していることを直接に測定した。それにしても、ハンセンに温室効果について考えさせたのは、

金星だったことは間違いない。

電波天文学者が、金星が強い電波源であることを発見する。なぜ、そんなに電波が強いのか、ほかの要因ではいずれも説明がつかない。そこで、表面がとてつもなく熱いため、と判断する。ではどこからこの高温がきているのか考えてゆくと、いずれにしてもある種の温室効果だという結論にたどりつく。これが、何十年かのち、地球文明への予期せぬ脅威を理解し、予測するための予備訓練として役立っていたことが分かるだろう。はじめは別の天体の大気の謎を解こうとしていた科学者が、地球についての重要で現実的な発見をするという例を、私はこのほかにも数多く知っている。地球について学ぶ学生にとって、ほかの天体は、このうえないトレーニングの場となる。それは、知識の広さと深さの両方を必要とし、想像力を刺激してくれるからである。

二酸化炭素の温室効果による地球の温暖化に懐疑的な人も、金星のとてつもない温室効果は気にとめておくほうがいいだろう。もちろん、無分別な金星人がどんどん石炭を燃やし、燃費の悪い車を走らせ、森林を伐採したことによって金星の温室効果が起きたなどとは、だれもいわない。私のいいたいことは違う。ほかの点では地球によく似ていながら、表面が錫や鉛をも溶かしてしまうほどの高温になってしまった隣の惑星の気候学的な歴史は、一考に値するということだ。とくに、増大する地球の温室効果はいずれ自然に元に戻るとか、実はそんなに心配する必要はないのだとか、あるいは、自ら保守主義者と名乗る団体の出版物に

見られるように、温室効果などというのはそれ自体いかさまなのだと主張する人々は、知っておく必要があるだろう。

3　核の冬は、地球規模の熱核戦争に伴って起きると予想されているもので、都市や石油関連施設が燃えて大気中に放出される煙の微粒子などによって、地球が暗くなり、温度が下がるというものである。それがどれほど深刻なのかをめぐって、激しい科学的論争が巻き起こった。しかし、さまざまな意見も、いまやほぼ収斂（しゅうれん）してきた。三次元の大循環コンピュータモデルはいずれも、世界規模の熱核戦争による地球の温度低下は、更新世（約一七〇万年前から約一万年前）の氷河期よりも下回るという予測を出している。それが私たちの地球文明にもたらす結果は、とくに農業の崩壊によって、実に惨憺たるものである。これは、米国、ソ連、イギリス、フランス、中国の政府当局の文官武官が、六万を超える核兵器を蓄積しようと決断したときには見過ごしていた、核戦争の帰結だった。こうしたことを見通すのは確かに難しいが、核の冬は、とくにソ連のような核武装国家に対して、核戦争の無益さを納得させるうえで、積極的な役割を果たしたといえるかもしれない。もちろん、それにはほかの要因も働いたが。

「核の冬」は一九八二年と八三年、私を含む五人の科学者のグループによって、最初に計算され、そう命名された。このグループは、リチャード・P・ターコ、オーエン・B・トゥーン、トーマス・アッカーマン、ジェームズ・ポラック、そして私の頭文字をとって、TTA

ＰＳと呼ばれた。この五人のうち、二人は惑星科学者で、残り三人は惑星科学に関する多くの論文を発表していた。核の冬の最初のヒントは、やはりマリナー9号の火星探査の最中に得られた。一九七一年のそのとき、火星には全面的な砂嵐が吹き荒れており、火星表面はまったく見ることができなかった。探査機の赤外線分光計による測定では、上部の大気の温度は本来より高く、表面では逆に低かった。ジム・ポラックと私は、席に着いて、どうしてこうなるのか、計算しようとした。そして、それに続く一二年のあいだに、火星の砂嵐から地球の火山性のエーロゾルへ、さらに隕石の衝突で出たちりによる恐竜の絶滅の可能性、そして、核の冬へと、一連の研究は進んできたのだった。科学は私たちをどこへ連れていくのか、まったく想像もつかない。

惑星科学は学際的な広い見方を与えてくれる。さらに、近づきつつある環境破壊の破局を発見し、防止しようと試みるうえで、きわめて有効であることも分かった。別の天体について学べば、惑星環境の壊れやすさについて、あるいは、ほかにどんなかたちの環境が存在し得るのかについての、一つの見方を獲得することができる。まだ発見されていない地球環境の危機が、ほかにあっても不思議ではない。もしあったら、間違いなく、その危機を理解するうえで惑星科学者が中心的役割を果たすはずだ。

数学、工学、そして科学の全分野のなかで、国際協力の度合いが一番高い、すなわち、二

カ国以上の共同執筆者を含む論文が一番多いのは、「地球および宇宙科学」といわれる分野である。地球やほかの天体を研究していると、その本来の性格からして、地域主義者や民族主義者、愛国主義者にはなりにくい。もともと国際主義者だからこの分野に入る、ということはまずない。たいていの場合、別の目的でこの分野に入り、自分の研究を補完してくれる素晴らしい研究が他国の研究者によってなされていることを知るのだ。あるいは、ある問題を解決するために、たとえば南天を観測するなど、自分の国にはないデータや見方が必要になることに気づく。そして、同じ地球の違うところから来た人間が、共通の関心事について、科学という互いに理解できる言葉で話し合うという経験をいったん積むと、同じことが科学以外のほかの分野では起こらないなどとはとても考えられなくなるのだ。私自身、地球・宇宙科学のこうした側面を、世界政治における和解や統一の原動力だと考えている。それに利益があろうとなかろうと、もはや避けて通ることはできない。

こうした証拠を見れば、惑星探査は、地球上の私たちにとって、もっとも効果的かつ緊急の事業であるように見える。たとえ私たちがほかの天体の探査に何の展望も持てなかったとしても、たとえ私たちが冒険心を一グラムの一〇億分の一たりとも持ち合わせなかったとしても、また、たとえ私たちが自分たち自身やそれを取り巻くごくごく狭いことがらにしか関心を持たなかったとしても、惑星探査はなお、力を注ぐべき素晴らしい目標であり得るのだ。

15

驚異の扉を開けて

驚異の世界の大閘門は打ちひらかれ……

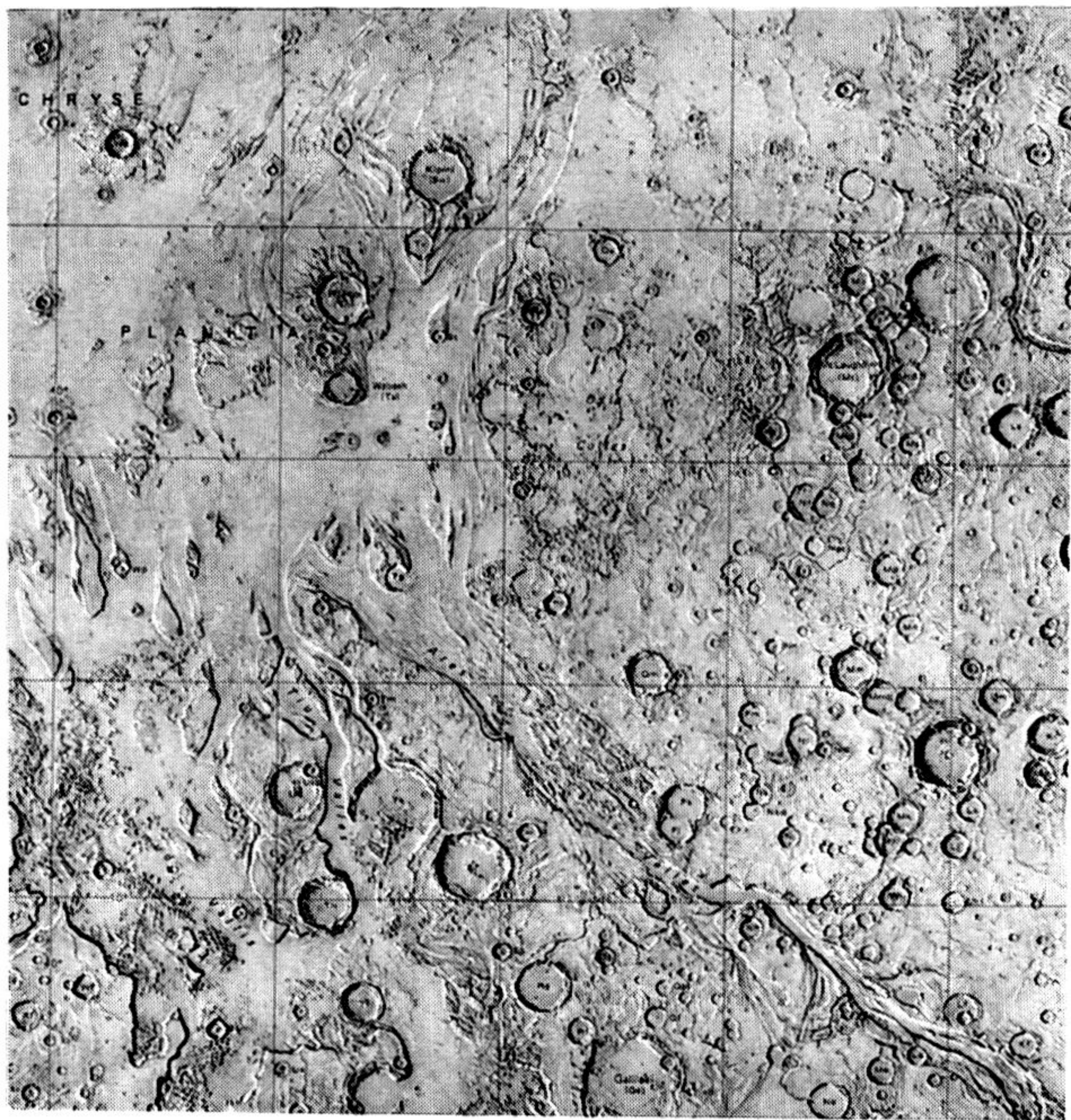
ハーマン・メルヴィル『白鯨』第一章（一八五一年）から。阿部知二訳

いつの日か、おそらく近いうちに、どこかの国が、いや多分、複数の国の共同体が、宇宙へ、人類の次なる大きな一歩を踏み出すことになるだろう。おそらくそれは、官僚主義的で煩雑な手続きをやめて、現存の技術を効果的に利用することによって、成し遂げられることだろう。あるいは化学燃料を使った大型ロケットに代わる新しい技術の開発が必要かもしれない。いずれにしても、新しい宇宙船の乗組員たちが新しい天体に降り立ち、やがて、その天体のどこかで最初の赤ん坊が生まれるだろう。そして、私たちはその土地に根を下ろす。私たちがその方向に進まざるを得ないのは間違いない。そんな未来が、必ずやってくる。

魅力的で威厳のある火星は、私たちの隣の世界だ。宇宙飛行士が安全に着陸できるいちば

ん近い惑星である。時には米国東北部のニューイングランドの一〇月と同じくらい暖かい時期もあるが、火星は冷たい世界だ。あまりに寒いために、薄い二酸化炭素の大気の一部はドライアイスとなって極地方に凍りついている。

火星は小さな望遠鏡でも表面を見ることができるもっとも近い惑星である。太陽系のなかでもっとも地球によく似た惑星でもある。接近しただけの飛行を別にすれば、これまでに完全に成功した火星探査は二度だけだ。一九七一年のマリナー9号と、七六年のバイキング1号と2号である。これらの探査で多くのことが明らかになった。ニューヨークからサンフランシスコまでに匹敵する長さ五〇〇〇キロメートル余もある巨大な深い地溝。火星の基準面から二万五〇〇〇メートルの高さにそびえ、エベレストのほぼ三倍もあるような大火山。極やその周辺にあって、過去の気候変動を記録していると思われる、ポーカー・チップの山のように入り組んだ層構造。過去数十年あるいは数世紀にわたって吹いていた風の向きや強さを教えてくれる、風砂によって表面につくられた明暗の縞模様。そして、火星全体を包み込む広大な砂嵐や、不可解な表面地形などである。

数十億年前に形成されたと考えられる数百もの曲がりくねった河床や谷は、主にクレーターの多い南部の高地で見つかっている。これらは、火星に、かつて、現在のような希薄な大気の下の極寒な環境とはまったく違う、地球に似た温暖な環境があったことを示している。河床は、あるものは雨によって、あるものは地下が削られて地表が崩壊することによって、

火星の赤道から北緯25度の範囲に広がるオクシア・パラス地域。バイキング１号の着陸地点であるクリュセ平原が左上にある。数十億年前、この地域を大洪水が襲った。しかし、河の流域に支流が少ないことから、空から雨が降ったというよりも、水は地下から湧き出したものと考えられる。バイキング１号は最初、この渓谷の合流地点に着陸する予定だったが、安全のために変更された。現在の火星は、40億年前のような湿潤で温暖な気候とは程遠い環境である。右下方にはガリレオの名がついたクレーターがある。USGS（米国地質調査所）が作製した地形レリーフ。

あるものは地下から噴き出た大洪水によって刻まれたと考えられる。いまではすっかり乾燥してしまった直径一〇〇〇キロメートルもの巨大な隕石孔に川が流れ込み、豊かな水に満たされていた時代があった。そして、この古代の火星の湖には、現在の地球で見られるどんな滝よりも大きな滝が流れ落ちていた。深さ数百メートルあるいは一〇〇〇メートルにも達する広大な海では、いまでは海岸線がほとんど識別できない岸に穏やかな波が打ち寄せていたことだろう。四〇億年前の火星こそ、探検すべき世界だった。私たちは遅かった(*1)。

ちょうどそのころ、地球では最初の微生物が生まれ、進化を始めていた。地球上の生命は、非常に根本的な化学的理由により、液体の水と密接に関連している。私たち人類の身体はおよそ四分の三が水でできている。古代の地球で、空から降ってきたり、大気や海のなかでつくられたのと同じような有機分子が、古代の火星でも蓄積されていたはずである。初期地球の水中ではすみやかに行なわれた生命の発生が、初期火星の水中ではいかなる理由で抑えられてしまったのだろうか。それとも火星の海もかつては生物に満たされ、それらが漂い、卵を産み、進化していたのだろうか。火星の海をどんな変わった生物が泳いでいたのだろうか。

このはるか昔のドラマがどんなものであったかは定かではないが、それは三八億年前ころから間違った方向に進み始めたらしい。というのは、そのころからクレーターの浸食作用が劇的に遅くなったことが分かっているからだ。大気は薄くなり、川の流れは止まり、海は干上がり始め、気温は急降下した。生物はわずかに残された居住に適した場所に引きこもった

のだろう。おそらく氷に覆われた湖底などに積み重なるようにして。そして、やがてそれさえも消え去ると、地球上の生物とはまったく異なる原理でつくられていたかもしれない火星の生物たちの死骸や化石は凍結された。そして、いつか遠い未来に火星に降り立つ探検者たちを待っているのかもしれない。

隕石は、地球上にほかの世界を再現してくれる破片だ。隕石のほとんどは、火星と木星のあいだの軌道を公転している膨大な数の小惑星どうしの衝突でできたものだ。しかし、ある種の隕石は、大きな隕石が惑星や小惑星に高速で衝突し、クレーターをつくったときに、えぐり取られた表面物質が宇宙空間に弾き飛ばされたものと考えられている。こうして放出された岩石のうち、ごく一部が何百万年ものちに、別の天体と遭遇する。

南極の氷の荒野のそこここには隕石が点在している。それらは低温で保存され、最近まで人間に邪魔されることもなかった。そのなかで、ＳＮＣ（Shergotty-Nakhla-Chassigny の略で、スニックと発音する）隕石と呼ばれる少数の隕石は、にわかにはとうてい信じられないような性質を持っていた。その鉱物やガラス構造の内側深く、地球大気の汚染の影響から免れた微量のガスが閉じこめられていたが、そのガスを分析すると、火星の大気とぴったり同じ化学組成と同位体比を持っていることが分かったのだ。私たちは、スペクトル観測に基づく推定だけでなく、バイキングの着陸機による火星表面での直接測定から、火星大気について知

っている。驚くべきことに、SNC隕石は火星からやってきたのだ。
SNC隕石は一度溶けて再び固まった岩石である。その放射年代を測定すると、母岩は一億八〇〇〇万年から一三億年前に溶岩から凝結したことを示している。その後に宇宙からの天体の衝突によって火星表面から放出されたのだ。どれだけ長いあいだ、惑星間空間を旅して宇宙線にさらされていたかを調べることにより、それらが何歳か、つまりどのくらい昔に火星から放出されたかが分かる。その結果は一〇〇〇万歳から七〇〇万歳だった。つまり、SNC隕石は火星の歴史のうち、もっとも新しい〇・一パーセントのあいだの時期の証言者なのである。
SNC隕石に含まれる鉱物のなかには、かつてそれらが熱い液体の水のなかにあったという明確な証拠となるものもある。それらの熱水性鉱物は、何らかの理由で、おそらくは火星全体にわたって、最近まで液体の水が存在していたことを物語っている。もしかすると、内部熱源によって地下の氷が溶けたのかもしれない。いずれにせよ、つぎのように考えるのは自然だろう。すなわち、火星の生命は完全に消滅していないのではないか。束の間存在した地底湖や地下の薄い水の層のなかで、何とかして今日まで生き延びているのではないか、と。
NASA（米国航空宇宙局）ジョンソン宇宙飛行センターの地球化学者エバーレット・ギブソンとハル・カールソンは、SNC隕石の一つから一滴の水を抽出した。その水に含まれる酸素と水素の同位体比は、まさしく地球外からのものだった。私は、この別の天体からや

ってきた水は、未来の探検者と未来の移住者たちへの激励だと思う。
火星表面のいろいろな場所から、一度も溶けたことのない砂や岩も含めて、たくさんの試料を地球上に持ち帰ることができたら、私たちは何を発見できるか考えてみよう。実際、私たちは、小さくて自由に動き回れるロボット走行車を用いて、その実現がほとんど可能なところまで来ている。
地表付近の物質をある天体から別の天体へと運ぶことは、とても興味深い問題を提起する。四〇億年前、ともに温暖で湿潤な二つの惑星が隣り合っていた。これらの惑星の形成の最終段階には、宇宙からの天体の衝突は現在よりはるかに高い頻度で起こっていた。どちらの天体からも物質が宇宙空間へと放り出されていた。この時期に少なくとも一方の天体に生命が存在していたのは確かである。放出された破片のうちの一部は、衝突と放出ともう一方の惑星によって捕獲されるまでのあいだ中、低温状態にとどまっていたはずである。したがって四〇億年前、地球上の初期の有機物が、無事に火星まで運ばれ、そこで生命を生み出したということはあり得なかっただろうか。あるいはもっと不確かな推定ではあるが、地球上の生命が、このようにして火星から運ばれて生まれたとは考えられないだろうか。二つの惑星が数億年のあいだ、定期的に生物を交換し合っていたようなことはなかったろうか。これらを検証することは可能かもしれない。もし、私たちが火星に生命を発見し、それが地球上の生命ととてもよく似ていたなら、そして、もし、それが私たち自身が探査に際して持ち込んだ

地球の微生物ではないことが確かなら、生命は大昔に惑星間空間を越えて運ばれていたという考えを、真剣に検討しなければならないだろう。

かつて、火星には生命があふれていると考えられていた。気難しくて疑い深い天文学者サイモン・ニューカムでさえも、その著書『みんなの天文学』（今世紀初めの数十年間に何度も出版され、子どもだった私にとって教科書のようなものだった）のなかでこう書いている。「惑星火星には生命が存在するように思われる。数年前まではこの考えは空想と見なされていたが、いまや広く受け入れられている」と。そして、さらに彼は、火星に存在するのは「知的な人類」ではなく、緑の植物である、と付け加えている。これまでに私たちは、実際に火星に行って、植物ばかりか動物や微生物や知的生物を探した経験を持っている。たとえまったく異なる様式の生命は存在しないとしても、今日の地球の砂漠がそうであるように、また地球のほとんどの時代でそうであったように、火星には微生物が豊富に存在すると私たちは考えていた。

バイキングによる「生命検出」の実験は、私たちが考え得る生物、つまりは私たちがよく知っている生物だけを検出できるように設計されていた。地球上の生命さえ検出できない装置を送るのは、ばかげていると考えられたからである。生物がいそうもない乾ききった地球の砂漠や荒野でも微生物を見つけることができるように、実験装置はきわめて高感度にでき

ていた。

最初の実験では、地球から持って行った有機物を一緒にしたとき、火星の土と大気のあいだで気体が交換されるかどうかが測定された。二番目の実験では、目印となる放射性元素を加えたさまざまな有機栄養物を用いて、火星の土のなかにその栄養物を食べて二酸化炭素に変えるような微生物がいるかどうかが調べられた。さらに三番目の実験では、放射性の二酸化炭素や一酸化炭素を火星の土のなかに入れて、火星の微生物がそれらを取り込むかどうかが調べられた。実験を計画したすべての科学者が驚いたことに、これらの三つの実験とも、最初は生物存在に肯定的と思える結果が出た。気体は交換され、有機物は酸化され、二酸化炭素は土に取り込まれたのだった。

しかし、注意すべきことがあった。それは、これらの刺激的な結果は、火星に生命が存在する十分な証拠であるとはすぐには決められないことだった。火星の微生物による代謝過程と思われるものは、バイキング着陸機内のさまざまな条件の下で起こっていた。(地球から持ち込んだ水で)湿っていても、乾燥していても、明るくても、暗くても、(水の氷点よりほんの少し高い)低温でも、(ほぼ通常の水の沸点の)高温でも。微生物学者たちは、火星の微生物がそんなにさまざまな条件に耐えられるはずがないと考えた。懐疑的になるもう一つの強力な理由があった。火星の土のなかに有機化合物を探すという四番目の実験の結果が、装置は高感度であるにもかかわらず、すべて否定的だったことである。私たちは、火星の生

命も、地球の生命と同様に炭素を中心とする分子でできていると考えていた。そのような分子が火星でまったく見つからなかったことは、地球外生物の存在に楽観的だった科学者たちをがっかりさせた。

生命検出実験の見かけ上の肯定的な結果は、いまではつまるところ、前章で述べたように、太陽の紫外線によって合成されて土を酸化している化合物によるものだと考えられている。それでも、バイキングに関係した科学者のうちの一部は、火星の土の上には非常に丈夫な有機物が薄く広がっていて、直接それを検出することはできなかったが、その代謝過程は捕らえることができたのだと考えている。彼らは、紫外線でつくられた酸化剤が火星の土のなかに存在することは否定しないが、それだけでバイキングの生命検出実験の結果のすべてが説明できるわけではないと主張する。SNC隕石のなかの有機物についての仮説も提出されているが、残念ながら、それは隕石が地上に落ちたあとで混入したもののようだ。これまでのところ、宇宙から降ってきた隕石のなかに、火星の微生物の存在を裏づける証拠はない。

NASAとバイキングに関係した科学者たちの多くが、火星の生命検出をそれ以上続けることに対してきわめて慎重だったのは、おそらく一般の人々の関心に迎合しすぎることを心配したためだろう。いまでも、かつてのデータを再検討する方法はたくさんある。たとえば、バイキングと同じような装置を使って、微生物がほとんどいないような南極などの土壌を調査したり、火星の土のなかでの酸化剤の役割を実験室でシミュレーションしたり、将来の火

星着陸機でこれらの物質が何かをはっきりさせる実験を（つぎなる生命検出実験も含めて）考案することは可能である。

もし、砂嵐が微粒子を運んで吹き荒れる火星表面の、五〇〇〇キロメートル離れた二点で高感度のさまざまな実験を行なっても、生命の確実な証拠が見つからないとしたら、少なくとも現在の火星は生物のいない天体ということになるだろう。しかし、火星が無生物の天体だとしても、同じ時に生まれ、かつては同じような環境を持ち、同じ太陽系の隣どうしで進化する二つの惑星がここにあるのは事実だ。一方では生命が進化し繁栄しているのに、もう一方ではそうでない。これは、なぜだろうか。

もしかすると、表面を乾燥させている太陽の紫外線と、それによってつくられた酸化物とから守られている地下には、初期の火星の生命の死骸や化石があるのかもしれない。あるいは、地滑りで地表に現われた岩や、昔の渓谷の岸や、干上がった湖底や、極地方の重層地層などに、重要な火星の生命の証拠が潜んでいるかもしれない。

火星の表面には見つからなかったが、その二つの衛星であるフォボスとデイモスは、太陽系の歴史の初期のころの複雑な有機物に富んでいるように見える。旧ソ連の探査機フォボス2号は、フォボスから噴き出す水蒸気の証拠を見つけた。それはまるで、フォボスの内部に氷が存在し、それが放射性元素によって温められていることを示しているかのようだった。これらの火星の衛星は、大昔に太陽系の端からやってきて捕獲されたものだろう。二つの衛

星は、太陽系のもっとも初期に形成された物質が変わらずに保持されている、地球からもっとも近い試料といえるかもしれない。フォボスとデイモスはとても小さく、それぞれ直径一〇キロメートルほどしかないので、重力はほとんど無視できる。したがって、接近するのは比較的容易だし、着陸し、調査するばかりでなく、火星研究の基地として使用し、そこから地球に帰ることも容易である。

火星は呼んでいる。ここは科学的情報の宝庫なのだといっている。火星そのものの研究も重要だが、火星の研究は私たちの地球の環境を知るうえでも重要だ。思いつくままにあげても、火星の内部構造やその起源、プレートテクトニクスのない天体における火山の性質、地球上では想像もつかないような砂嵐によって刻まれる地形、氷河と極の地形、惑星大気の脱出、衛星の捕獲など、たくさんの謎が解決を待っている。もし火星が、かつて豊富な水を持ち、温暖な気候であったのなら、何が違ったのだろう。地球に似た天体が、どうしていまではすっかり乾ききって寒い大気の薄い天体になってしまったのだろう。そこには私たち自身の地球のためにも知っておくべきことがあるのではないだろうか。

私たち人類は以前もこの道をたどった。大昔の探検家たちは火星の呼びかけに気づいていたのだろう。しかし、単なる科学的探査なら人間は必要ない。私たちはいつでも有能なロボットを送り込むことができる。ロボットは有人探査に比べてずっと安価で、口応えはしないし、どんなに危険な場所にでも行ける。宇宙開発には、探査計画失敗の可能性が常に伴う以

上、危険を冒してまで人間を送ることはない。

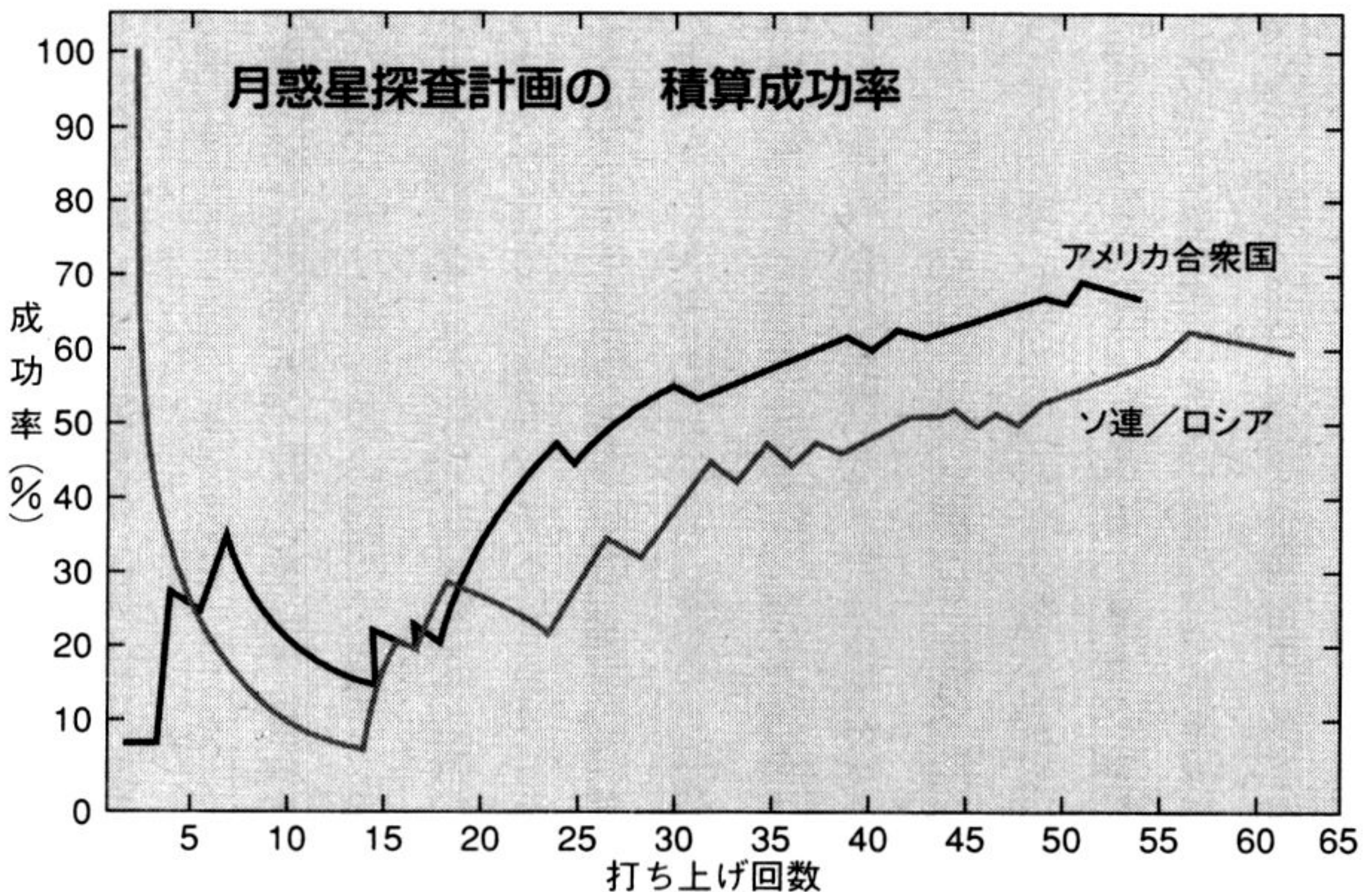
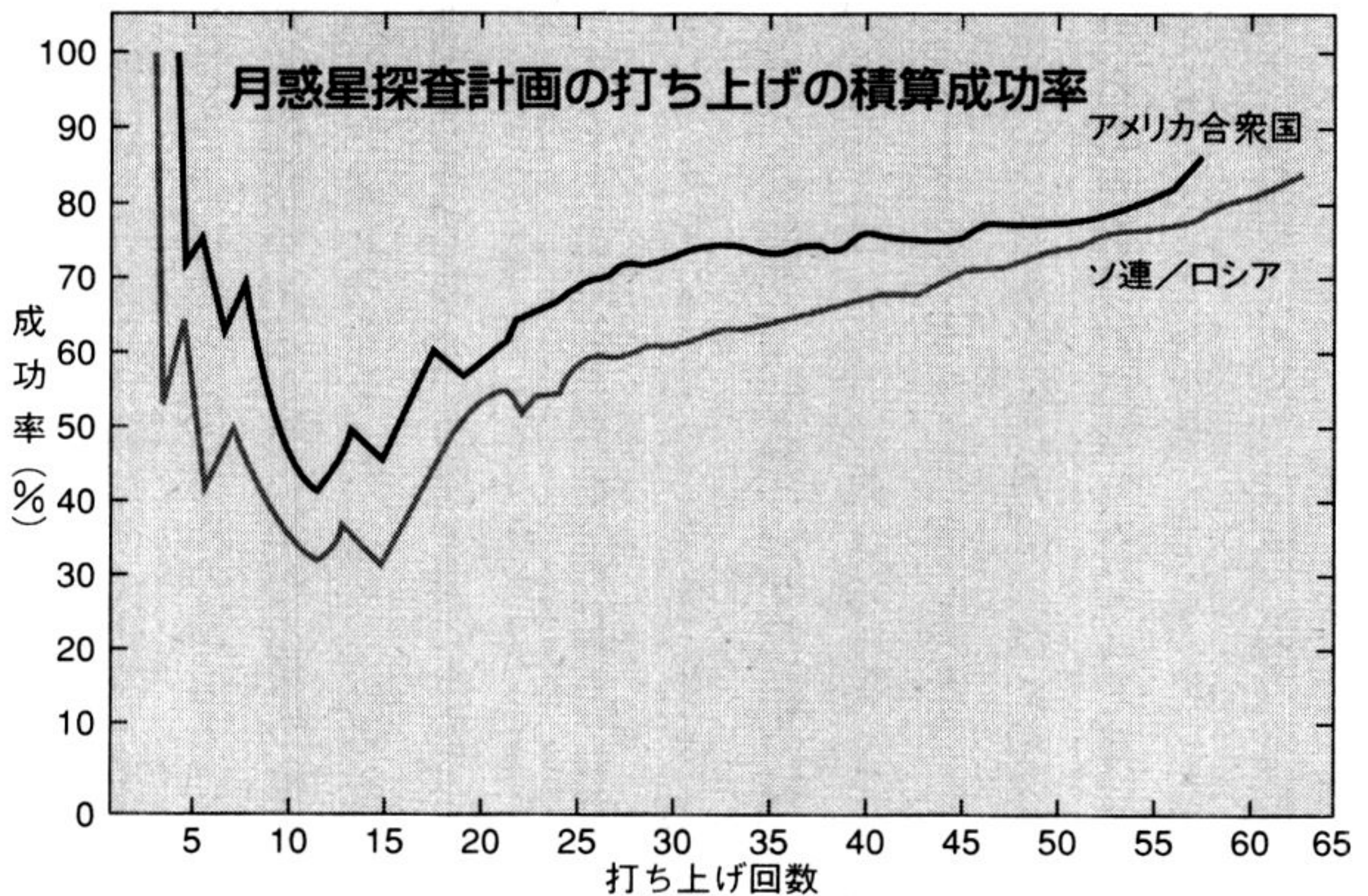
「私を知りませんか」。牛乳パックの裏面に「名前はマーズ・オブザーバー。大きさは六フィート×四・五フィート×三フィート。重さは二五〇〇キログラム。一九九三年八月二一日に火星から六二万七〇〇〇キロメートルの地点で消息を絶った」と書かれている。

「MO（マーズ・オブザーバー）、家に電話をしなさい」。一九九三年八月下旬、NASA／JPL（ジェット推進研究所）の飛行管制施設の外に掲げられた旗には、悲しいメッセージが記された。米国の火星探査機マーズ・オブザーバーの火星周回軌道への投入直前の失敗は、関係者に大きな失望を与えた。それは、二六年間に及ぶ米国の月惑星探査計画で、打ち上げ後の失敗としてははじめてのものだった。多くの科学者や技術者が一〇年もの歳月をMOに捧げていた。それはまた、七六年のバイキングの二つの周回衛星（軌道機）と二つの着陸機以来、一七年ぶりの米国の火星探査計画だった。さらに、冷戦後はじめての本格的な探査機でもあった。実際、ロシアの科学者が複数の研究チームで働いていたし、ロシアのマルス94探査計画や、大胆にも走行車と気球を送り込むマルス96探査計画で、マーズ・オブザーバーは着陸機のための重要な電波中継局の役割を果たすことになっていた。

マーズ・オブザーバーに搭載されていた科学観測機器は、火星の地球化学的地図をつくり、将来の探査で着陸地点を決定する際の準備をするはずだった。また、火星の歴史の初期に起

こったと考えられている大規模な気候変動に関する新しい情報も提供してくれるはずだった。さらに、二メートル以下の細かい精度で、火星表面の写真を撮影する予定だった。もちろん私たちは、マーズ・オブザーバーが明らかにしてくれるはずだった謎を知る由もない。しかし、私たちはいつも、ある天体を新しい装置でよりすぐれた精度で調べることにより、目が眩むほどたくさんの発見をしてきた。ちょうどガリレオが望遠鏡を天に向けて現代天文学の時代を開いたときのように。

事故調査委員会によれば、失敗の原因は、おそらく加圧中の燃料タンクの破裂だったと考えられる。気体と液体の燃料は飛び散り、傷ついた探査機は激しく回転して、制御不能になったのだろう。ひょっとすると事故は回避できたかもしれない。それは不幸な偶発的な事故だったのかもしれない。しかし、この事態を正しく認識するために、米国と旧ソ連が試みた月惑星探査計画の全貌を見ておくことにしよう。

はじめのうち、私たちの成績はとてもお粗末だった。探査機は打ち上げ時に爆発したり、的を外してしまったり、目的地に着いても正しく作動しなかったり、失敗続きだった。しかし、時がたつにつれ、私たちは惑星間飛行に習熟していった。学習曲線を見てみよう。次ページの図は、NASAの計画成功の定義とデータとに基づいた打ち上げ成功率と探査計画の成功率とを表わしている。私たちはよく学習している。宇宙船を正しく飛行させるために、私たちが現在いかに高い能力を持っているかは、先に述べたボイジャーの成功が如実に物語

米国とソ連およびロシアの月惑星探査計画の成功率。上が打ち上げの積算成功率、下が探査計画そのものの積算成功率を示す。明らかに学習効果によって成功率が上がっているが、探査の失敗はある確率で避けられないことが分かる。

っている。

米国の月惑星探査計画の通算成功率が五〇パーセントに達したのは、三五回目の打ち上げのころだった。旧ソ連は、同レベルに達するまでに、五〇回の打ち上げを要した。頼りなかった初期と上達した近年とを平均すると、米国もロシアも、打ち上げの通算成功率は約八〇パーセントとなる。ただし、計画そのものの積算成功率はいまだに米国で七〇パーセント未満、旧ソ連およびロシアでは六〇パーセント未満である。いいかえると、月惑星探査計画は平均して三〇パーセントか四〇パーセントは失敗しているのである。

ほかの天体への探査計画は、はじめから技術の粋を極めたものだったし、今日でもそうである。それらは万一に備えて重複したサブシステムを備えており、熱心で経験豊かな技術者たちが操作しているが、それでも完璧ではない。驚くべきことは、探査計画に何度も失敗したことではなく、これほど成功してきたことのほうである。

マーズ・オブザーバーの失敗は、欠陥があったためなのか、単なる偶然だったのか、分からない。しかし私たちは、ほかの天体の探査は、ある確率で必ず失敗するということを覚悟しておかなければならない。ロボット探査機が失われても、人間の生命が犠牲になるわけではないのだ。成功率を大幅に向上することができたとしても、それはいまよりはるかに高くつくだろう。それよりは、失敗を承知のうえで、たくさんの探査機を飛ばすほうがずっとよい。

失敗を減らすことはできないと分かっていながら、なぜ私たちは近年、一つの探査計画に一機の探査機しか飛ばさないのだろうか。金星をめざした一九六二年のマリナー1号は大西洋に落ちた。ほとんど瓜二つのマリナー2号は、人類最初の惑星探査の成功をもたらした。マリナー3号は失敗したが、双子のマリナー4号は六四年にはじめて火星のクローズアップ写真の撮影に成功した。七一年にマリナー8号と9号を火星に打ち上げた際、マリナー8号は火星の地図をつくることを、9号は表面の模様の不可解な季節変化やもっと長期的な変化を研究することを目的にしていたが、二つの探査機はそれ以外はまったく同じだった。マリナー8号は海に落ちてしまったが、マリナー9号は火星に到達し、人類史上はじめて、ほかの惑星を周回する人工衛星となり、火山や、極冠にある重層地層や、太古の渓谷や、風による表面の変化などを発見した。さらに、かつて「運河（カナリ）」と呼ばれたものが運河でないことを立証し、北極から南極までの地図をつくり、今日知られているほとんどすべての火星の地形を明らかにした。また、火星の衛星のフォボスとデイモスを捕らえて、小天体の仲間をはじめて接近観測することにも成功した。もし、マリナー8号しか打ち上げていなかったら、これらの成果は得られず、それまでの努力はまったくの水の泡になっていただろう。二機打ち上げによって、歴史的な成功がもたらされたのだ。

それだけではない。バイキングも、ボイジャーも、ベガも二機ずつだったし、ベネーラも何度もペアで打ち上げられた。なぜマーズ・オブザーバーだけ一機だったのだろう。その答

えは費用である。マーズ・オブザーバーが高価だった理由の一つは、スペースシャトルで打ち上げる予定だったからだ。スペースシャトルは、惑星探査計画にとっては何ともばかばかしいほど高価な打ち上げ用ロケットである。二機のマーズ・オブザーバーを打ち上げることはあまりにも高価だった。そして、事故をはじめ、多くのシャトルに関連したスケジュールの遅れや費用増加ののち、ＮＡＳＡは方針を変更し、マーズ・オブザーバーをタイタン・ロケットで打ち上げることに決めた。これはさらに二年の遅れと、新しい打ち上げロケットに探査機を合わせるためのアダプターの設計開発を必要とした。もし、ＮＡＳＡがますます不経済になっているシャトルによる打ち上げにあれほど固執しなかったら、私たちは二年早く、しかも一機でなく二機の探査機を打ち上げられたことだろう。

しかし、一機であろうと二機であろうと、宇宙をめざしてきた国々が、再び探査機を火星に向けて打ち上げる好機が到来したと見ていることは明らかだ。探査計画は変貌し、新しい国々がこの分野に参入している。古い国はもはや貯えを持っていない。すでに予算がついている計画でさえも保証があるとは限らない。しかし、現在の計画はおそらくしかるべき成果を上げ、粘り強い努力と深く専念することの意義を証明するだろう。

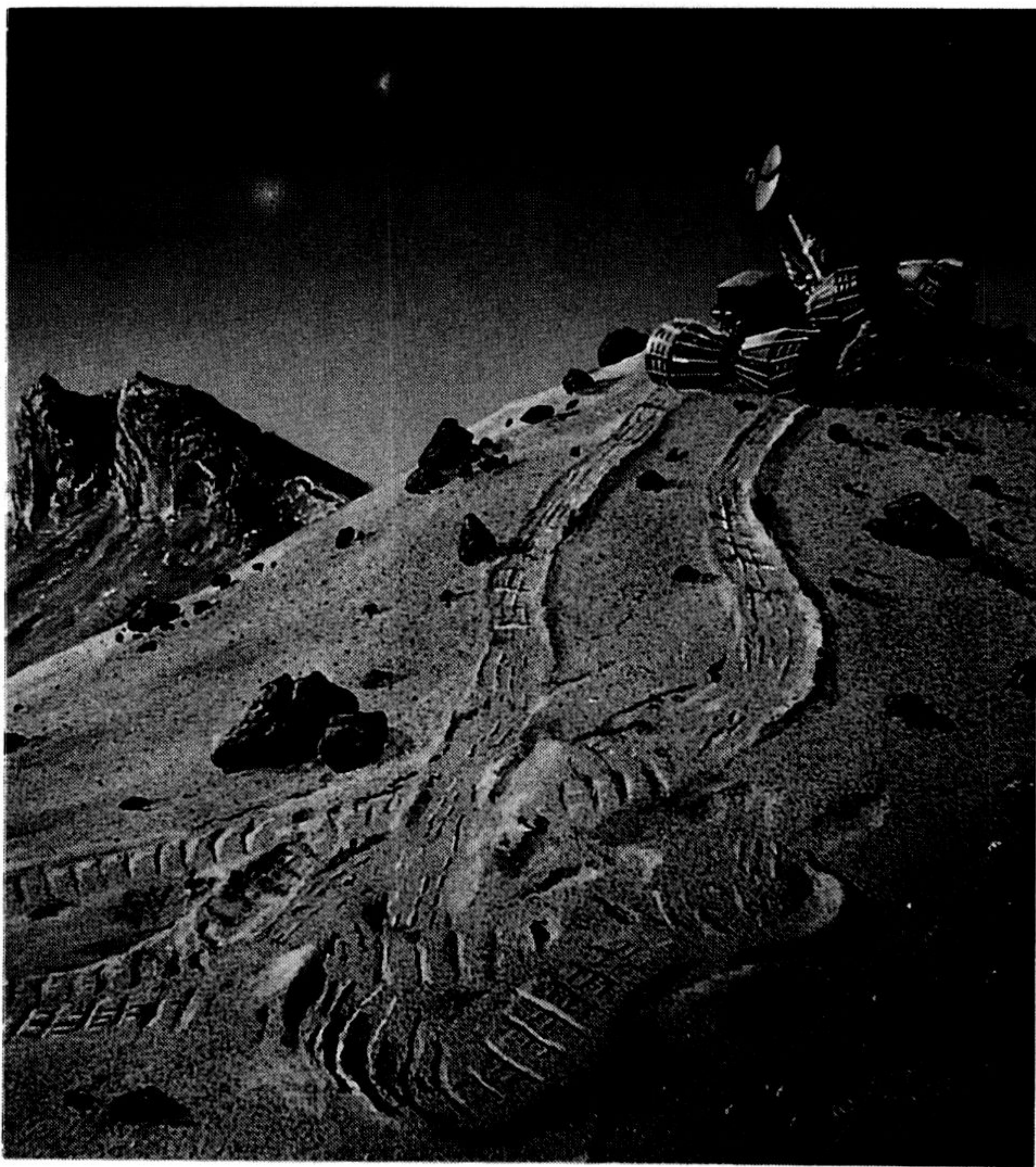
すでに述べたように、米国、ロシア、フランス、ドイツ、日本、オーストリア、フィンランド、イタリア、カナダおよびＥＳＡ（欧州宇宙機関）などによる暫定的な無人火星探査の共同計画がある。一九九六年から二〇〇三年までの七年間に、約二五の探査機が火星に送り

込まれる。それらの大部分は比較的小型で安価であるが、単なる接近飛行ではなく、どれも周回衛星と着陸機を持つ長期計画である。米国はマーズ・オブザーバーで失ったすべての科学観測機器を再び打ち上げることになるだろう。ロシアの探査機は一二カ国共同の、きわめて野心的な実験を行なう予定だ。通信衛星は火星上の各実験基地から地球にデータを送る中継局の役割を果たすだろう。周回軌道から火星の砂のなかにペネトレーターが打ち込まれ、地下のデータを送ってくる。計器を積んだ気球や移動可能な実験室が、火星の砂の上を動き回るだろう。マイクロロボットのなかには重さが一キログラムくらいのものもあるだろう。着陸地点は現在検討中である。計器類は相互に比較校正され、データは自由に交換されるだろう。近い将来、火星と火星の謎は地球人にとってますます親しいものになっていくに違いない。

地球の指令センターの特別室で、あなたはヘルメットを被り、手袋をつけている。あなたが左を向くと、火星にいるロボット走行車のカメラが左に向く。あなたはカメラが捕らえるものを高精細度のカラーで見ることができる。あなたが前に一歩踏み出すと、ロボットも前に進む。あなたが腕を伸ばして何か砂のなかで光るものを拾うと、ロボットの腕も同じことをする。火星の砂はあなたの指をすりぬける。まるで、火星にいるように体験できるだろう……。このような遠隔操作で、ただ一つ困ったことは、すべてをうんざりするほどゆっくり

やらなければならないことだ。というのは、地球から火星へ指令が送られ、火星から地球にデータが帰ってくるまで、往復のやりとりに三〇分もしくはそれ以上の時間がかかるからだ。しかし、これも慣れれば何ということはない。もしそれが火星探査の代償ならば、私たちはやる気持ちを抑えられるだろう。ロボット走行車は非常に賢くつくられていて、ありふれた偶発事故には自分で対処できる。しかし、何かもっと大変なことに遭ったら、ぱったりと止まって、待機状態に入り、ずっと離れた地球にいる辛抱強い人間の操縦者に無線で連絡をとる。

火星をさまよう小さなロボットを心に描いてほしい。それは小さな科学実験室だ。まず安全だが退屈な場所に着陸したあと、火星の数々の謎を間近に見るために、うろうろと動き始める。たぶんロボットは毎日、火星の地平線まで動くだろう。毎朝のように、私たちは、昨日は遠く離れたところにあった丘をすぐ近くに見ることだろう。火星地形の調査がどんどん進む様子はニュースで報道され、学校の教室でも見ることができるだろう。人々はつぎにどんなことが発見されるかを想像する。夜のニュースで火星から新しい場所の調査結果や新しい科学的発見を知らせるたびに、地球上のすべての人が探検隊の一員になったような気分になるだろう。

火星の仮想現実（バーチャル・リアリティー）体験も可能だ。火星から送られてきたデータは最新のコンピュータに保存され、あなたのヘルメットや手袋やブーツに入力される。あ

火星の表面を自由に、機能的に動き回るロボット走行車。ロボットのアンテナは地球に向けられている。マイケル・キャロルによる想像図

なたは地球上の何もない部屋のなかを歩いているのだが、まるで火星にいるように感じる。ピンク色の空や、石ころだらけの平地や、地平線まで続く砂丘や、その向こうにかすんで見える巨大な火山。ブーツの下では砂がサクサクと音をたてる。岩をひっくり返し、穴を掘り、薄い大気を採取する。角を曲がるたびに、あなたが出合うのは、何であれ火星における人類の新しい発見だ。すべてが火星にあるものの正確なコピーで、それをあなたは、あなたが住んでいる町の安全な仮想現実サロンで体験できる。もちろん、これが私たちが火星を探査する目的だというのではない。しかし、仮想現実に変換される前には、まず、そのための実物（リアル・リアリティー）を持ち帰るための無人探査機が必要なことは明らかである。

ロボット工学や人工知能の研究に投資を続けるのなら、科学的関心だけでは人間を火星に送る理由として説得力を欠く。本当に火星に行ける人よりももっと多くの人が、火星を仮想現実体験できるのだから。私たちはロボットとても仲良くなれる。だから、もし人間を送ろうとするならば、科学や冒険だけでなく、それ以上の理由が必要になるだろう。

一九八〇年代に、私はすでに人類の火星探査計画は約束されたものだと思っていた。冷戦によって地球を危機にさらしてきた米国とソ連が、遠い未来を見つめて、最先端の技術で協力し、すべての人々に希望を与えてくれるだろうと考えたのだ。宇宙開発の二つの先進国がいっしょになって、アポロ計画とは逆に、競争ではなく協力を原動力として、ほかの惑星への定住という人類史上の大きな一歩を築くだろうと想像していた。

人類に終末をもたらす核兵器を大陸間に飛ばすのと同じ技術が、ほかの惑星への人類最初の旅を可能にするとは、まさに時代を象徴しているではないか。戦いの神マルスにちなんで名づけられた火星(マーズ)という惑星を抱擁することは、神の力の使い道としてふさわしく思えた。

私たちは、ソ連の科学者や技術者たちがこのような共同作業に関心を持つように説得した。当時モスクワのソ連科学アカデミー宇宙研究所所長だったロアルド・サグデーエフは、これよりずっと前から、金星、火星、ハレー彗星への無人飛行計画における国際協力に心を砕いていた。ソ連のミール宇宙ステーションや、米国のサターン5型ロケットに匹敵するエネルギヤロケットを国際的に共同利用することに、ソ連の技術陣は心をひかれた。共同利用するのでなければ、わざわざそのようなものを開発した意味がない。論争の末（冷戦終結に貢献するというのが、議論の核心であった）、当時ソ連共産党の書記長だったミハイル・S・ゴルバチョフは納得した。そして、一九八七年一二月のワシントン・サミットの期間中に、ゴルバチョフは米ソの友好関係を象徴するものとしてもっとも重要な共同作業は何かと問われ、ためらうことなく、「いっしょに火星に行きましょう」と答えた。

しかし、これに対してレーガン政権は冷淡だった。ソ連と協力することや、ある分野の技術において米国よりソ連のほうが優れていると認めることや、米国の技術をソ連も使えるようにすることや、名誉を共有することや、兵器製造者たちに代わりの道を与えることなどは、レーガン政権が好むことではなかったのだ。ゴルバチョフの申し入れは拒絶され、火星行き

は延期された。

だが、たった数年で時代は変わった。冷戦は終わり、ソ連はなくなった。二国だけの共同作業から生まれる利益は損なわれたが、ほかの国々、とくに日本やＥＳＡを構成する国々が、惑星間飛行に参画することになり、それらの国々で予算要求が出されるようになった。

しかし、エネルギヤロケットは現在も探査計画を待っている。強力なプロトンロケットも使える。ミール宇宙ステーションは、ほぼ常に乗組員が乗った状態でいまも地球を一周一時間半で回りつづけている。内戦が続くにもかかわらず、ロシアの宇宙計画は活発に続けられている。宇宙におけるロシアと米国の協力は加速している。すでにミール宇宙ステーションで四六四日の宇宙滞在記録を残しているロシアのセルゲイ・クリカリョフ飛行士は、一九九四年にスペースシャトル・ディスカバリーに搭乗し、一週間の飛行を経験した。やがて米国の宇宙飛行士もミールを訪れることになるだろう。米国の観測装置、たとえば、火星の土のなかで有機分子を破壊してしまうと考えられているオキシダント（酸化剤）の調査をする機器などが、ロシアの探査機で火星に運ばれる予定である。本来ならば、マーズ・オブザーバーが、このロシアの火星探査計画の着陸機のための中継基地としての役割を果たすはずだった。ロシアの人々は、将来のプロトンロケットを使った火星探査計画では、米国の火星周回探査機もいっしょに搭載することを提案している。

宇宙での米国とロシアの科学と技術はうまくかみ合っている。それぞれ相手が弱い部分が

強く、互いに補い合えるからだ。実現するまでの道のりは驚くほど困難だったが、これはいわば天界での結婚といえるだろう。

一九九三年九月二日、ワシントンにおいて、米ロの協力に関する協定が、アル・ゴア副大統領とビクトル・チェルノムイルジン首相のあいだで交わされた。クリントン政権は、NASAに、レーガン政権時代には「フリーダム」と呼ばれていた米国の宇宙ステーションをミールと同じ軌道に乗せ、ミールと合体できるように再設計することを命じた。日本や欧州のモジュールやカナダのロボットアームも装備される予定だ。宇宙ステーション「アルファ」と呼ばれるこの構想は現在、ほとんどすべての宇宙開発を行なっている国家（中国を除く）を巻き込み、検討が進められている。

米国からの宇宙技術協力と経済援助の見返りとして、ロシアは弾道ミサイル部品を他国に売ることを停止し、戦略兵器技術の輸出を厳しく規制することに合意した。このように宇宙は再び、冷戦中と同じように国家政略の手段の一つとなっている。

こうした新しい流れはしかし、米国の航空宇宙産業や議会の実力者たちの一部に深い不安を与えた。国際競争なしに、米国はこれまでと同様の野心的な努力をできるのか。また、ロシアのロケットを共同利用することは、米国の航空宇宙産業をないがしろにすることにならないか。さらには、共同計画において、今後もロシア側の安定した支援と努力が続くと信じてよいのだろうか。ロシアはロシアで、米国に対して同様の不安を持つだろう。しかし、共

同計画は長期的には予算節約になり、地球上に分散しているすぐれた科学と技術を取り込み、地球に明るい未来をもたらすことになるだろう。各国の参加姿勢に変動はあるかもしれない。私たちは進むばかりでなく後退することもあるかもしれない。しかし、全体としての流れははっきりしているように思える。

不安はあっても、かつての二大敵国は、宇宙開発計画でともに進み始めた。宇宙ステーションは、単一国のものではなく、惑星地球全体の計画として進められつつある。この世界宇宙ステーションは数百キロメートル上空の、赤道から（ロシアの宇宙船の軌道傾斜角度と同じ）五一度傾いた軌道に組み立てられる予定だ。また「火と氷」と呼ばれる興味深い共同探査計画も検討されている。これは、探査機を太陽の重力で加速し、最後の未探査惑星である冥王星へと送りこむと同時に、太陽に接近した際に太陽大気に小さな観測装置を打ち込もうという計画だ。さらに、私たちは火星の国際共同科学探査を始めようとしている。これらの計画は、世界各国が協力し合ってこそ実現できるだろう。

火星への冒険に果たして、妥当な、費用に見合った、広い支持を得られる理由があるかどうかは、未解決の問題である。まだ合意は得られていない。この問題は次章で扱うことにしよう。

しかし、もし、私たちが火星のような遠い天体に人間を送ろうとしないなら、地球軌道上

の恒久的な前線基地である宇宙ステーションの存在意義はほとんどなくなってしまうのではないだろうか。宇宙ステーションは、地球を見下ろすにせよ、宇宙を見渡すにせよ、あるいは（宇宙飛行士の存在そのもので乱されるような）微小重力を利用するにしろ、科学を行なううえで最適な場所とはとてもいえない環境である。軍事偵察用としても、はるかに無人の人工衛星より劣っている。宇宙ステーションでなければという経済的・産業的な利点もない。無人衛星に比べて高くつくし、何より人命の危険が伴う。宇宙ステーションの建設や物資補給のためにはスペースシャトルが利用される予定だが、シャトルの打ち上げには一、二パーセントの確率で大事故が起こると見積もられている。さらに地球の低軌道には、過去の民間や軍の宇宙活動によって生じた残骸が無数に散らばっていて高速で周回しており、ロシアの宇宙ステーション「ミール」は、これまで幸いにもまだ災難に遭っていないとはいえ、遅かれ早かれ宇宙ステーションはそれらの残骸と衝突するだろう。宇宙ステーションは人間の月探査にも不必要である。アポロがそのことを証明している。サターン5型やエネルギヤ級のロケットがあれば、地球の軌道に近づく地球近傍小惑星や火星にさえも、地球を回る宇宙ステーションなしにたどりつくことが可能だろう。

宇宙ステーションは精神の高揚や教育的な目的には役立つかもしれない。そしてきっと宇宙開発を行なう国々、とくに米国とロシアの関係を強固なものにするだろう。しかし、私の知る限り、長期宇宙飛行のための研究こそ、宇宙ステーションの機能を有効に生かす唯一の

進行する血液の組成変化や一年当たり六パーセントという骨の減少に対抗できるだろうか。もし、宇宙旅行者が無重量状態で航行しなければならないとしたら、三、四年かかる火星探査ではこの影響が積算されることになるのだ。

これらはＤＮＡや進化にかかわる基礎生物学の問題とはいいがたいが、その代わり、応用人間生物学ともいうべき新しい分野を提起している。その答えを知っておくことは重要である。もちろん、将来、私たちがどこか遠い宇宙の、たどりつくまで長い時間がかかる場所へ行く場合に限ってだが。宇宙ステーションがめざすただ一つの明確な目的は、地球近傍小惑星や火星、あるいはさらに遠くの天体への有人飛行である。ＮＡＳＡはこの事実を明言することに長いあいだ、慎重な姿勢をとってきた。というのは、おそらく米国議会の議員が夢のような話にうんざりし、宇宙ステーションは予算がかかり過ぎると糾弾し、火星への有人飛行に米国は関与するつもりはないと宣言することを恐れたためだ。実際、ＮＡＳＡは、宇宙ステーションの本当の目的について沈黙してきた。とはいっても、私たちがこのような宇宙ステーションを持ったからといって、何もただちに火星へ行くわけではない。私たちは十分な時間をかけて、宇宙ステーションを使って必要な知識を蓄え、習熟する。そして、機が熟したときに、つまり惑星に行く準備が整ったら、安全に宇宙航行を遂行するための知識と経験が備わっていればよいのだ。

マーズ・オブザーバーの失敗や一九八六年のスペースシャトル・チャレンジャーの悲劇は、将来の火星やほかの天体への飛行においても、どうしても減らすことのできない事故の危険があることを思い起こさせた。月に着陸することができず、かろうじて地球に帰還できたアポロ13号は、これまでいかに私たちが幸運だったかを印象づけた。一世紀以上も使っているのに、いまだに私たちは完全に安全な自動車や列車をつくることができない。はじめて火を使ってから何十万年もたっているのに、私たちは完全に火を制御することができず、世界中のどの都市にも消防署があって、火災が起こるや消火にかけつける。コロンブスは新世界への四回の旅でつぎつぎと船を失い、一四九二年の航海など、小船隊の三分の一は海の藻屑と消えた。

もし、人間を送り出すなら、それ相応のきちんとした理由がなければならない。そして、生命が失われる危険性が現実にあることも覚悟していなければならない。米国やソ連の宇宙飛行士たちは常にこのことを認識していた。それでも、これまでも、そしてこれからも、宇宙飛行をめざす人がなくなることはないだろう。

しかし、なぜ火星なのか。なぜ再び月へは行かないのか。月はすぐ近くだし、私たちはすでに人間をそこに送ることができることを実証している。私は月は終点ではなく、寄り道だと思っている。私たちは月に行き、少しばかりのものを持ち帰った。人々は月の石を見て、月にはがっかりしているのだ。それは、まったく当然だと私も思う。月は静かで、空気はな

く、水もなく、暗黒の空の、死んだ世界だ。もっとも興味深かったのは、太古に月と地球に降りそそいだ天体の衝突を記録したクレーターだらけの表面だけではなかっただろうか。

これと対照的に、火星には、気象の変化があり、砂嵐があり、二つの月があり、火山があり、氷の極冠があり、特有な地形があり、かつては地球のような大規模な気候変動があった証拠さえもある。火星には過去に、古代の渓谷があり、生命が存在する可能性があり、私たちが将来、たとえば地球から移住して暮らすのにもっとも適した惑星である。月はまったく、これとは違う。火星にも独自のクレーター形成の歴史が見てとれる。もし、私たちのすぐそばにあるのが、月ではなくて火星だったら、私たちは有人宇宙飛行で後退することはなかっただろう。

月は、火星をめざすうえでの試験基地や中間ステーションとしてもとくに望ましいところではない。火星と月の環境は大きく異なるし、月から火星までは地球から火星までと同じように遠い。火星探査のための機器類の試験は、地球周回軌道や地球近傍小惑星の上で、あるいは南極など地球上においても、少なくとも月面上と同程度にはできる。

日本は、米国やほかの国が協力し合って、宇宙探査のための大きな共同プロジェクトを熱心に進めていることについて、懐疑的なようである。その一つの理由として、日本はほかの国々と比べて、単独で宇宙探査を行なおうとする傾向が強いことがあげられる。日本の月惑星協会は、政府、大学、大企業の宇宙開発推進者たちが参加する機関である。この協会は、

まったくロボットだけによって月面基地を建設し維持する計画を提案している。計画にはおよそ三〇年を要し、そのあいだ、年間一〇億ドルはかかるといわれる。これは現在の米国の非軍事目的の宇宙開発予算の七パーセントに当たる。日本の計画では、その基地が完成してはじめて、人間が月に行くことになる。基地建設にロボットを使うのは、地球から無線でロボットに指令することで、費用を一〇分の一に減らせるからだといわれている。ただ一つ困ったことは、報告書によれば、日本の科学者のなかにつぎのような疑問を発しつづける人たちがいることだそうだ。「いったい何のためにそれを行なうのか」。すべての国にとって、この問いは重要である。

人類初の有人火星探査計画は、もはや単一の国が独力で行なうにはあまりにも費用がかかりすぎる。また、このような人類にとって歴史的な一歩となる活動は、ごく一部の人々のみによって成し遂げられるべきものではない。米国、ロシア、日本、ＥＳＡ、そして中国などの国々のすべてが協力すれば、この冒険はそれほど遠くない将来に実現できるかもしれない。その意味で、国際宇宙ステーションの建設は、高度な宇宙技術プロジェクトにおける私たちの共同作業の能力を試すものになるだろう。

今日、一キログラムのものを地球を回る低い軌道まで持ち上げるのにかかる費用は、ちょうど一キログラムの金の価格と同程度である。このことが、間違いなく私たちがいまだに火星の古代の海岸線に向けて漕ぎ出せずにいる大きな理由である。多段式化学ロケットは私た

ちをはじめて宇宙空間に運んでくれ、今日までずっと使われてきた。私たちはこれを改良し、より安全で、より信頼性が高く、より簡単で、より安価なロケットをつくるために努力してきた。しかし、改良は期待したほどには進まなかった。

もっとよい別の方法があるかもしれない。たとえば、搭載物を軌道に直接送り出せる一段式ロケットや、たくさんの小さな搭載物を巨大な大砲で発射したり飛行機で運び上げたロケットで発射する方法や、超音速のラムジェットエンジンの利用などが考えられる。もしかすると思いもよらないような素晴らしい方法があるかもしれない。もし目的地であるほかの惑星の大気や表面から、帰還に必要な燃料をつくりだせるなら、宇宙旅行の困難は大きく軽減されるだろう。

ひとたび宇宙空間に出たなら、惑星に向かう大きな荷物を運ぶのに、ロケットは必ずしも最適な手段とはいえない。現在、私たちは最初に二、三段のロケットを噴射させ、軌道修正したあと、慣性飛行に入る。しかし、惑星間航行では、小さいけれども安定した加速を生み出すイオン推進システムや原子力・電気推進システムが有望視されている。あるいは、ロシアの宇宙開発の父、コンスタンチン・ツィオルコフスキーが考えた太陽帆船（ソーラー・セイル）も使えるかもしれない。太陽光と太陽風を捕らえるための幅が何キロメートルもあるような巨大な、しかし非常に薄い膜でできた帆を広げた帆船が、惑星間の真空中を進む。火星やさらに遠い天体への旅には、こうした方法は現在のロケットよりもはるかに適している

だろう。
多くの技術において、はじめて開発されたときに辛うじてでもうまくいけば、それを改良し、発展させ、さらに利用しようとするのが、ふつうであろう。ところが、やがてその最初の技術への投資が大きくなりすぎて、より良いほかの技術への移行が難しくなってくる。NASAはロケットに代わる推進技術を開発するための財源をほとんど持っていない。NASAの予算は、ほとんど短期的な計画、つまり具体的な成果をすぐにもたらし、NASAの成功記録を改善するような計画のために使わなければならないからだ。ロケットに代わる技術の開発に予算を使うとしたら、それは一〇年か二〇年後にやっと元が取れるかどうかである。一〇年も二〇年も先のことに興味を持てといわれても、困ってしまうではないか。このようにして、最初の成功が最終的に失敗の種を蒔いてしまうことがある。生物進化の過程でも同様のことは時折起こった。しかし、遅かれ早かれ、どこかの国、おそらくは限界近くまで達した旧技術に莫大な投資をしなかった国が、効率のよい、新技術を開発するだろう。
それより前に、もし私たちが協力する道を歩むならば、いつか、おそらくは二一世紀のはじめの数十年のうちに、惑星に向かう宇宙船が地球周回軌道上で組み立てられるようになり、その状況が毎日のテレビニュースをにぎわせる時が来るだろう。宇宙飛行士たちが空を舞いながら、組み立て式の部品をつなぎ合わせる。宇宙船の試験が終わって準備が整うと、各国の乗組員が搭乗して、宇宙船は脱出速度まで加速される。火星への往復のあいだ、乗組員の

生命と安全は、互いに助け合うことで守られている。それはちょうど地球上の社会の縮図であろう。おそらく人間を乗せた最初の国際共同惑星探査は、火星に接近して周回するだけであろう。それに先立って無人探査機が、大気ブレーキやパラシュート、逆噴射ロケットを使って火星表面に軟着陸し、試料を採取して地球に持ち帰り、将来の探査に必要なものを置いて来るだろう。筋の通った強固な理由があろうとなかろうと、私たち自身が破滅への道を進まない限り、いつか人類が火星の土を踏む日が来ると、私は確信している。それは時間の問題である。

一九六七年一月二七日にワシントンとモスクワで調印された厳粛な条約に従えば、いかなる国家も、ほかの惑星の一部またはすべての所有権を主張することはできない。にもかかわらず、コロンブスがそうであったように、だれが最初に火星の土を踏むかにこだわる人たちがいる。もし本当にこのことに気をもむのなら、宇宙船が火星大気のなかをゆっくりと降下してゆくときに、乗組員たちの足首をひもで結び合わせておけばいい。

乗組員たちは、ある者は生命を探すために、ある者は火星と地球の過去と未来を理解するために、さまざまな試料を手に入れるだろう。さらにその後の探検のために、彼らは岩石や大気や地下の永久凍土から水や酸素や水素を抽出し、実験を行なうだろう。飲んだり、息をしたり、機器類の発電に使ったり、ロケットの燃料や酸化剤として地球帰還の旅に利用できるかどうかなどを調べるだろう。彼らはまた、やがて火星上につくられるであろう基地や居

留地で利用するための火星の資源を調査するだろう。

そして、彼らは探検に出かける。初期の人類の火星探検を想像するとき、私はいつも、入り組んだ渓谷を動き回るジープに似た走行車や、地質調査のためのハンマーやカメラ、分析機器を手に持った乗組員を思い浮かべる。彼らが探しているのは、昔の岩石や太古の大衝突の記録、気候変動の手がかりや変わった化学物質、化石、そして、もし本当に見つかれば本当にわくわくするけれどもまず見込みがなさそうな、生物である。彼らの冒険や発見は、光の速さで地球にも伝えられ、テレビで放映される。そして、あなたも子どもたちといっしょにベッドに寝そべりながら、太古の火星の河床を探検するのだ。

（＊1）アルバパテラと呼ばれる斜面などいくつかの場所では、ほかの場所に比べて非常に年代の若い複雑に枝分かれした谷が広がっている。理由はよく分からないが、最近一〇億年のあいだにも時折、火星のそこここで液体の水が流れていたようである。

16

火星への道

友よ、だれが天に昇るというのか？

シュメールの叙事詩『ギルガメシュ』（紀元前二〇〇〇年ころ）から

どういうことなのだろう？　私は時折考えてしまう。私たちの祖先は東アフリカからノバヤゼムリャ（ロシア北西沖の二つの島）へ、エアーズロック（オーストラリア南西部の岩山）へ、パタゴニア（南米大陸の南端の地方）へと足跡を広げ、石の穂先をつけた槍でゾウを狩り、七〇〇〇年前には北極海を小舟で渡り、風だけを頼りに地球を一周する航海を達成し、宇宙に飛び出して一〇年もたたずに月の上を歩いたではないか。それなのに、火星への航海に乗り出すのをどうしてためらうのか？　しかし、そこで私は、苦しんでいる人々のことを思い起こす。ほんの二、三ドルあれば、渇えて死にかけている一人の子どもの命を救うことができるのだ。火星に行くのにかかるのと同じ費用で、どれほど多くの子どもたちの命を救えるだろうかと。だが、そこでまた私は考えを変える。地球にとどまることが無価値なのか、

それとも地球の外に出ることが無価値なのか？　私は間違った議論をしてきたのだろうか。地球のすべての人のより良い生活と、惑星や恒星に行くこととは、両立し得ないのだろうか。

一九六〇年代から七〇年代にかけて、私たちは莫大な費用を投じて宇宙探検を行なった。人類は今世紀中に火星に到達すると考えたのは、私ばかりではないだろう。しかし私たちは内側へと向きを変えてしまった。無人探査をのぞけば、私たちは惑星や恒星への道から撤退してしまったのだ。私はふたたび考え込む。これは勇気が欠けていたためだろうか、それとも人類が成熟した証拠なのだろうかと。

おそらく、それが私たちが期待できる最大限のものだったのだろう。ともかくもここまで実現しただけでも、驚くべきことだといえるだろう。私たちは一二人の人間を月までの一週間の旅に送り込んだ。私たちには海王星までの太陽系全体について基本的な調査を行なうだけの能力もあった。探査によって豊富なデータがもたらされたが、これらは短期的には、日々の、食卓のパンのような実用的な価値はなかった。だが、それは人々の精神を高揚させた。私たちが宇宙のなかでどんな位置にいるのかを知らしめてくれた。月に行く競争もなく惑星計画もない、そんな歴史に比べたら、ずっとましだ。

しかしまた、もっと真剣に宇宙探検に取り組むような歴史もあり得たはずだ。もしそうであったら、私たちはいまや、すべての木星型惑星の大気や、数十個の衛星、彗星、小惑星などを調べる無人探査機を持ち、火星に日々の発見を報告してくれる自動科学ステーションの

ネットワークを設置し、さまざまな天体で採取した試料を地球の実験室で解析することによって、それらの地質や化学、生物の存在すら明らかにできているだろう。人類の植民地も地球近傍小惑星や月、あるいは火星に建設されていることだろう。

歴史のうえで、とり得る道はたくさんあったが、私たちが選んだのは、多くの点で英雄的な出来事もあったものの、穏便で未熟な宇宙探検の道であった。だが、それは、とろうとすればとれた道よりも、いつの日かとれるであろう道よりも、はるかに良くない道であった。

「不毛の真空に、命の火である緑のプロメテウスの火を運び、生きるもののファイアストームを燃え上がらすことは、まさに人類の宿命なのである」。第一千年財団とかいうところのパンフレットには、このように書いてある。一年に一二〇ドルで、その時がきたら「宇宙植民地」の「市民権」を保証する。もっと多額を寄付した「後援者」は「恒星間飛行文明の永久の感謝」を受け、「月に建てる記念碑(モノリス)に名前を刻まれる」という。これは宇宙における人類の存在を顕示しようという熱狂主義のなかでも極端な一例だ。これとは別な極端な例は、議会でもよく出る「なぜロボットではなく、人が宇宙に出なければいけないのか」という質問だ。アポロ計画は「(カネ食い虫の)無用の計画」だったと評論家のアミタイ・エトシオーニはいった。冷戦が終わって、有人宇宙飛行計画を正当化する従来の根拠は失われた。このような状況で、私たちはどこに行くべきなのだろうか。

月への競争で米国がソ連を負かして以来、人類が宇宙に行くための筋道立ったかつ広範な同意を得られる根拠は消え失せてしまったようだ。大統領も議会の委員会も有人飛行計画で何をすべきか途方に暮れている。何のために？　なぜ必要なのか？　しかし、宇宙飛行士の業績と月面着陸は世界の称賛を集めた。政治指導者が有人飛行から後退すると発言すれば、それは米国の業績を否定することにもなりかねない。どの大統領が、どの議員が、米国の宇宙計画に終止符を打つ責任をとりたいと思うだろうか。旧ソ連でも同じような議論が聞かれる。いまだに世界の先頭を行く高度な技術を捨て去るべきか否か、コンスタンチン・ツィオルコフスキーやセルゲイ・コロリョフ、ユーリ・ガガーリンが歩んできた道を閉ざすべきかどうか、と彼らは考え込んでいる。

官僚主義の第一法則は、従来どおりの継続を保証することである。上からのはっきりした指示もなく、好きなようにやった結果、ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）の計画は次第に利益や雇用や役得を守る方向へと移行していった。議会が指導的役割を果たす「補助金目当ての政治」が、しだいしだいに探査の計画や実施、長期的目標に強い影響を及ぼすようになったのである。官僚制は硬直化し、ＮＡＳＡは進むべき方向を見失った。

一九八九年七月二〇日、アポロ11号月着陸二〇周年の日、ジョージ・ブッシュ大統領は米国の宇宙計画の長期展望を発表した。「宇宙開発の主導権（ＳＥＩ）」と呼ばれるもので、宇宙ステーションを含めて、月へ再び人類を送ることや、最初の火星着陸など一連の目標を提

案した。最後のほうでブッシュは、火星への人類第一歩の日として二〇一九年を目標に設定した。

しかし、トップの明確な方向づけにもかかわらず、SEIは失敗した。発表された四年後になっても、NASAにその担当事務局すらできなかった。認められてもおかしくない小型で安い無人月探査機すら、SEIと関係しているのはけしからんという理由で議会に否決されてしまった。何がいけないというのか？

一つの問題は期間の長さだった。大統領が平均して任期を一・五期（六年）務めるとすれば、SEIは大統領五人分くらいの任期が必要だ。大統領が後継者に引き継がせようとしても、それがどれほどしっかりと引き継がれるか疑問である。始まったときは夢のようにも見えたが、ケネディ大統領や直系の政治後継者が大統領府にまだいるあいだに成功したアポロ計画に比べて、SEIはまったく対照的だった。

二番目の問題は、その数年前に数人の宇宙飛行士を地球から三〇〇キロメートル上空に安全に運び上げることにすら失敗した（スペースシャトル・チャレンジャーの事故）ようなNASAが、一年かけて一億六〇〇〇万キロメートルもの長い旅に宇宙飛行士を送り出し、生きたまま連れ戻すことができるかという懸念であった。

三番目は、計画が国家主義的で排他的だと見なされたことだ。ほかの国々との協力は、計画にあたっても実施にあたっても重要とは考えられていなかった。宇宙開発の名目上の責任

者であるダン・クエール副大統領は、宇宙ステーションは米国が世界で唯一の大国であることを示すものだと主張していた。しかしソ連はその一〇年も前から宇宙ステーションを運用しており、クエール副大統領の主張がおかしいことは明らかだった。
そして結局のところは、政治の現実から見れば、金はどこから出るのかという問題があった。火星に最初の人類を送る費用は、最高五〇〇〇億ドルというのまで、さまざまに見積もられていた。
もちろん飛行計画を立てる前に費用を予測することは不可能だ。飛行計画は、乗組員の数、太陽や宇宙の放射線あるいは無重量状態への対策の程度、さらに乗り組む男女の生命にかかわるようなその他の危険など、さまざまな問題によって変わる。すべての乗組員がそれぞれ必要不可欠な専門家であったとしても、そのうち一人が病気になったらどうなるのか。乗組員の数が増えるほど、お互いの支援体制は強まる。専任の歯科医を乗り組ませることはまずないだろうが、一番近い歯医者が一億キロメートル以上も離れているときに、歯の治療が必要になったらどうするのか。地球の歯科医に遠隔操作でやってもらえるだろうか。
ウェルナー・フォン・ブラウンは、かつてナチスの下で働いたことがある米国の技術者だが、だれよりも人類が宇宙に進出することに貢献した。彼は一九五二年の著書『火星計画』で、最初の探検には惑星間宇宙船一〇隻に乗組員七〇人、そして三隻の着陸船を必要とするとした。彼は重複を第一と考えたのである。それでも、兵站（へいたん）条件は「限定された戦域に散開

する軍事行動ほどは大きくない」と書いている。「大胆な惑星間の冒険のための、ただ一隻の宇宙ロケットと少数の宇宙飛行士という理論を見直す」ことを彼は意図し、コロンブスの三隻の船隊に注目する。その船隊がなかったら、「コロンブスがスペインの岸に二度と戻らなかったことは明らかであろう」と彼はいう。現在の火星探検案はこの警告を無視している。現在の案はどれも、フォン・ブラウンのそれほど野心的でなく、三人から八人の宇宙飛行士を乗せた一、二隻の宇宙船と、無人の貨物船一、二隻からなっている。私たちは、ただ一隻のロケットと少人数の乗組員という古い考えから、いまだに抜けきれていないのである。

飛行計画や費用に影響を与えるほかの不確定要因として、つぎのようなことが考えられよう。事前に地球から送り込んだ補給物資が無事に火星に届いたのちに、人間を火星に向けて打ち上げるのか。火星の物質から呼吸用酸素や飲料水、帰還用のロケット燃料などをつくりだせるのか。着陸の際に薄い火星の大気をブレーキに使うのか。用心のために装備をどれだけ重複させるのか。どの程度の自給自足体制にするのか、それとも地球から運んだ食料や水やごみ処理装置に頼るのか。人間が火星を探検する乗り物はどのような設計にするのか。将来、火星で生活できるかどうかを試す機器類をどれだけ運んでいくのか。

そのような問題が解決する前に、探検計画の費用がどれくらいの額になるか決めることは愚かなことである。一方で、ＳＥＩが極端に高額になることも明らかだ。これらすべての理由のために、ＳＥＩには出番がなかった。それは死産だったといえる。これは、ＳＥＩに政

治資金を使おうとしたブッシュ政権の無意味な企てであった。
ここから、つぎのようなことが明らかになった。技術は十分にあるにもかかわらず、比較的近い将来に人類を火星に送る道はなさそうだ。政治というものは、これほど巨額の予算を単に科学や探検のためには使おうとはしない。政治的な意味を兼ね備えた、名目というものが必要なのだ。
いますぐにこんなお誂え向きの計画を練り上げることは不可能だが、できることなら飛行計画は最初から、費用も責任も公平に分担し、多くの国から専門家を選ぶ、国際的なものでなければならない、と私は思う。そして、適正な費用で、計画承認から打ち上げまでの時間を実際の政治の物差しに合わせ、関係する各宇宙当局は、乗組員の安全を確保し、予定どおりに、予算内で最初の探検飛行を行なう能力があることを示さなければならない。予算一〇〇〇億ドル以下、計画承認から打ち上げまで一五年以内の飛行計画ができるなら、それは実現可能であろう。この費用は、現在の宇宙開発国家の非軍事の年間宇宙予算総額のほんの一部にすぎない。大気ブレーキや帰還用の酸素や燃料を火星大気から製造することができるなら、そのような予算や進行予定も現実に歩み寄ってくるように見える。
より安くより早く行こうとすれば、必然的に宇宙飛行士の生命にかかわるような多くの危険を冒さなければならなくなる。例は数えきれないほどあるが、中世日本の武士に代表されるように、飛行が危険であればあるほどそこに意義を認める有能な志願者はいつの時代にも

いるものだ。一方、計画が過去に例がないような規模になればなるほど、予算も進行予定も当てにならなくなる。より大きなものを求めるほど、金はかかり、実現までに時間がかかる。政治的な実現可能性と飛行の成功とのあいだに適切な妥協点を見つけることは容易ではない。

子どもの頃から夢見てきたからとか、人類にとっての明確な長期的探検の目標であるとかいうのでは、火星に行くのに十分な理由とはなりにくい。これだけたくさんのお金を使う話をしているのだから、支出をそれらしく正当化しなくてはならない。

いまでは、莫大な支出なしには取り組めないような、明らかに緊急の国家的な課題となっているものがほかにもある。一方で、自由裁量の連邦予算は痛ましいほど制約されている。有毒物や放射性物質の処理、エネルギー効率、化石燃料の代替品、技術革新力の低下、都市の基本的施設の崩壊、エイズの流行、さまざまな癌、ホームレス、栄養不良、乳児死亡、教育、雇用、健康管理といった痛ましい項目が延々と並ぶ。それらを無視しては国家の安寧が危機にさらされる。すべての宇宙開発国が同じようなジレンマを抱えている。

これらの問題のほとんどすべてが、その解決に何千億ドルあるいはそれ以上の費用を要する。都市の基本的施設の修理には数兆ドルはかかるだろう。化石燃料の代替品だって、たとえ可能であるにしても、明らかに何兆ドルもの投資が必要だ。これらの事業は私たちの支払い能力を超えている、とすらいわれる。どうして火星に行く余裕など生み出せるだろうか。

仮に米国の連邦予算あるいはほかの宇宙国家の予算であと二〇パーセントの自由裁量資金があったとしたら、私は人類を火星に送ろうと提唱するのにさほど痛痒を感じないだろう。逆にもし、二〇パーセント少ないなら、どんなに強硬な宇宙計画支持者でもそんな計画をいいださないだろうと思う。確かに国家の経済がそれほど困窮を極めているときに、火星に人を送ろうなどというのは良心の呵責というものを知らないけしからぬ主張だろう。問題はどこに線を引くかだ。線は明らかに存在するはずだ。この議論に加わっている人々は、線をどこに引くべきなのか、宇宙に回してもよい国民総生産（GNP）の額がどれくらいなら多すぎるのか、はっきりというべきである。私は同じことを国防についてもやってみたい。

世論調査によれば、多くの米国人がNASAの予算は国防予算と同じくらいだと考えている。実際には、有人・無人飛行、航空分野などを含めたNASAの全予算は米国の国防費の約五パーセントだ。あまりにも国防費に使い過ぎて、いかにこの国を弱くしていることか。NASA全部をつぶしたところで、解決を迫られている国家的課題から私たちは解放されるだろうか。

火星への飛行はいうに及ばず、人類の宇宙飛行は一般に、一五世紀のコロンブスとエンリケ航海王子の議論のように、そこに利益という魅力があれば、もっとたやすく支持を得られるだろう（＊1）。進んでいる話もないわけではない。真空、低重力、強い放射線といった地

球に近い宇宙の環境は、商業的な利益のために利用できる、といわれている。しかし、そのような提案はすべて、つぎのような疑問に答えなければならない。宇宙計画の費用に匹敵する開発費をかけても、地球上でそれと同等あるいはそれ以上の製品がつくれないのかどうか。ロケットや探査機そのものをつくっている会社を除いて、そのような技術に企業がほとんど投資したがらないことを考えれば、少なくとも現在、見込みはあまり高くなさそうだ。

どこかの天体で貴重な資源を採取できる可能性もあるが、運送費が高くつくことから、魅力は薄れてくる。私たちの知る限りでは、タイタンには石油の海がありそうだが、地球に運ぶのは費用がかかり過ぎるだろう。ある小惑星には白金族の金属が豊富にあるようだ。これらの小惑星を地球を回る軌道に変えることができれば、それを採掘するのが便利になる。しかし、のちに述べるが、少なくとも当面は、このアイデアは危険で軽率なものといえよう。

古典的なSF小説『月を売った男』のなかで、ロバート・ハインラインは「儲け」が宇宙旅行の動機になると考えた。彼は冷戦で月が売れるとは予測しなかった。しかし、ありのままに書いたのでは儲け話にならないことを彼は知っていた。それゆえ彼は、月の表面をダイヤモンドで飾り立て、探検者は息もつけぬほどの発見をして、ダイヤモンドラッシュが始まるという話を描いた。私たちは月から石の試料を持ち帰ったけれど、商業的に興味をひくダイヤモンドは、一かけらもなかった。

しかし東京大学の倉本圭(きよし)と松井孝典は、地球、金星、火星の中心にある鉄の核がいかに形

成されたかを研究し、火星の地殻と核とのあいだのマントルは、月や金星や地球のマントルよりも炭素に富んでいることを見いだした。三〇〇キロメートルより深いところでは、高い圧力のために炭素はダイヤモンドに変わる。私たちは火星が歴史を通じて地質学的に活発であったことを知っている。たいへん深いところの物質は時折、大噴火だけでなく、表面に押し出されて顔を出すだろう。ほかの天体にダイヤモンドが見つかることはありそうだ。それも火星には。月はだめだろう。どのくらいの量か、どの程度の質か、大きさ、そしてどの場所にかは、まだ私たちには分からないが。

何カラットもする豪華なダイヤモンドをぎっしり積んだ宇宙船が地球に戻ってくれば、ダイヤモンドの値段を押し下げて、デビアス（世界最大のダイヤモンド会社）やゼネラル・エレクトリック社の株主をがっかりさせることは疑いない。しかし、ダイヤモンドは装飾品だけでなく産業用にも使われるので、ある限界以下には値下がりしないだろう。これで影響を受ける産業は火星探検を早急に推進する気になるのではなかろうか。

火星のダイヤモンドが火星探検費用をまかなうという考えは、きわめて長期的に見た場合確かに成り立つ。しかしそれは、ほかの天体で希少で価値の高い物質が発見できるかもしれないという一例にすぎない。だが、そんな偶然性を当てにするのはばかげている。ほかの天体への飛行に正当な根拠が欲しいのなら、ほかの理由を見つけなければならないだろう。

儲けや費用の議論以上に、利点についてこそ述べなければならない。人類の火星飛行を提唱するならば、それは地球が抱える厄介な問題を軽減するようなものであるかどうか、を検討しなければならない。ここで、正当化の根拠となりそうなさまざまなものをとりあげて、それらが有効か無効か、あるいは不確定なものかどうかを見てみよう。

火星への有人飛行が実現すれば、現在や過去の生物捜索も含めて、火星に関する知識は驚くほど増えるだろう。無人探査ですでに始まっているように、地球環境への理解も進むだろう。私たちの文明の歴史は、基礎知識の追究こそが、もっとも重要で実際的な進歩の道であることを示している。世論調査によれば、「宇宙開発」のもっとも人気のある理由は「知識の増加」である。しかし宇宙に人類を送り出すことは、この目標を達成するのに不可欠だろうか。国家的に高い優先権が与えられており、向上した機械の知能を備えた無人探査は、宇宙飛行士と同じように、私たちが知りたいすべての質問に答えることができ、おそらく費用は一〇パーセントで済むだろう。

「スピンオフ（波及効果）」が、宇宙計画がなければ出てこなかった巨大な先進技術の利益を生み出し、米国の国際競争力を増し国内経済を活性化していることは断言できる。しかし、これにも古くからいわれていることがある。当時の金で八〇〇億ドルを使い、アポロの宇宙飛行士を月に送って、私たちはこげつかない（テフロン加工の）フライパンを手に入れただけだ。もし私たちがフライパンを求めていたなら、直接投資して、八〇〇億ドルのほとんど

が節約できたろう、というものだ。

これには、ほかにも同じようにまことしやかな話がある。たとえば、デュポン社のテフロン技術はアポロ計画よりずっと前からあった、というものだ。同じことは心臓ペースメーカー、ボールペン、マジックテープなど、ほかのアポロ計画のスピンオフといわれるものにもあてはまる。私はかつて心臓ペースメーカーの発明者と話したことがあるが、心臓を病んだことがある彼は、ＮＡＳＡが彼の発明の名誉を奪ってしまったことを不当だと思うと話した。緊急に必要な技術であれば、金を使って開発すればよい。なぜそのために火星に行く必要があるのか。

もちろん、ＮＡＳＡが要求した大量の新技術が、一般経済にたいした影響も与えず、地上で役立つ発明品がないというようなことはあり得ない。たとえば、粉末オレンジジュースは有人飛行計画の産物だし、コードレスの機器や心臓の埋め込み式除細動器、液体冷却服、デジタル画像などいくつかのスピンオフを挙げることができる。しかし、これらが人類の火星への航海やＮＡＳＡの存在を正当化する根拠となるとはいいがたい。

レーガン大統領時代のスター・ウォーズ事務局が衰退していくときに、それといっしょにスピンオフという古い手段が息切れしたように使えなくなってきたことが分かる。軌道上の軍事ステーションから発射されて水素爆弾を破壊するＸ線レーザーは、レーザー手術の役に立つだろうと、いわれていた。しかしレーザー手術が必要で、国家的に優先順位が高いなら、

その開発に予算をつければいい。スター・ウォーズとは切り離すべきだ。スピンオフの正当化は、計画がそれだけでは成り立たず、本来の目的では正当化できないことを認めているようなものだ。

計量経済学のモデルを基に、ＮＡＳＡに投資されたドルは米国経済に多大な見返りをもたらすという考えが、かつてはあった。ほかの政府機関よりＮＡＳＡでこの「乗数効果」が期待できるなら、宇宙計画を財政的にも、社会的にも強力に正当化できるだろう。ＮＡＳＡの支持者たちはこの点を訴えた。しかし一九九四年の議会の予算局の研究により、これは誤りであることが分かった。ＮＡＳＡは米国経済のある種の製造業、とりわけ航空産業には利益をもたらすけれど、優先的な乗数効果はなかった。同様に、ＮＡＳＡの支出は雇用や利益を生み出し維持しているが、ほかの政府機関より効果が大きいとはいえない。

ホワイトハウスでは時折、教育の重要性についての議論が蒸し返されることがある。理学博士の数は、アポロ計画が始まってから少したった、アポロ11号のころピークになった。ありそうな話だが、因果関係はたぶん立証されないだろう。しかし、だから何だというのだろう。教育を向上させるのには、火星に行くのが一番の道だろうか。教師の教育や給料、学校の実験室や図書館、恵まれない学生への奨学金、研究施設、大学院の研究奨励金などのために一〇〇〇億ドルあれば何ができるか考えてみよう。果たして、理科教育を推進するために火星に行くことが最良の方法というのは、本当だろうか。

もう一つの議論は、人類の火星飛行は、外からの脅威を強調することによって国防費を吸い出す、軍産複合体制の強力な政治的勢力に利用されるというものだ。別の側面から見れば、火星に行くことで、将来の非常事態に不可欠の技術能力を継続維持することができる。もちろん、直接民間経済に役立つことをしてほしいと求めることもできる。しかし一九七〇年代に登場したグラマンのバスやボーイング・バートルの通勤列車で分かったように、航空産業が民間経済の分野で競争力のある製品をつくることは非常に難しいものだ。確かに、一年で一〇〇〇マイル走る戦車と、一週間で一〇〇〇マイル走るバスの基本設計は違って然るべきだ。しかし少なくとも信頼性に関しては、国防総省はもっと要求してもよいはずだ。

宇宙における協力は、すでに述べたように、国際協力の一手段になってきている。たとえば、戦略兵器の拡散を遅らせる、といったように。冷戦が終わって不要になったロケットが、地球軌道や月、惑星、小惑星、彗星への飛行でまた使えるかもしれない。しかしこれらは有人火星飛行がなくても、そうなるであろう。

ほかの根拠も提案されている。それは世界のエネルギー問題の究極の解決策というもので、月で露天掘りをして、太陽風が月に吹き込んだヘリウム3を地球に持ち帰り、核融合に使うというのである。何と核融合だって？　可能だとしても、また採算が合うとしても、五〇年か一〇〇年先の技術だ。私たちのエネルギー問題は、もう少し早く解決する必要がある。

何とも奇妙な根拠として、世界の人口問題の解決のために宇宙に人を送るというのがある。しかし毎日、死者より約二五万人多い赤ん坊が生まれている。ということは現在の人口水準を維持するためには、毎日二五万人を宇宙に打ち上げなければならないということになる。これは現在の能力を超えているようだ。

連邦予算のなかの、急を要するほかの支出項目を思い浮かべながら、以上のようなリストをつくって、賛否両論を付け加えてきた。私には、これまでにとりあげた根拠はつぎの質問で集約できるように思われる。それぞれは不適当な根拠でも多数合わせたら、適切な根拠になり得るだろうか？

そうではあるまい。

私のリストのどの項目も、長期にわたって五〇〇〇億ドル、あるいは一〇〇〇億ドルを支出するだけの価値があるとは思われない。しかし、それらの多くは幾分かの価値がある。それぞれ二〇〇億ドルの価値のあるものが五項目として、全部合わせても一〇〇〇億ドルくらいだろう。費用を削減し、本当の国際協調体制をつくることがうまくできれば、もっと説得力のある根拠になるだろうが。

この問題に関する国家的な論争が起こるまで、有人火星飛行計画の理論的根拠と費用対効果について、もっと良い考えが出てくるまで、私たちは何をすべきなのだろう。私が提案し

たいのは、それ自体の利点によってかほかの目標と関連によってかともかく根拠があると認められ、もし将来行くことが決まったときには、有人火星飛行に貢献できるような研究開発計画を行なおうということである。そのような課題を以下にあげてみよう。

⊙ロシアの宇宙ステーション「ミール」に米国の宇宙飛行士を乗せて共同飛行を行ない、その飛行時間を火星への飛行時間に相当する一、二年まで徐々に延ばしてゆく。

⊙国際的な宇宙ステーションの主要な機能を、人類に対する宇宙環境の長期的影響を調べることにする。

⊙国際宇宙ステーションに、回転式あるいは綱の先につけた「人工重力」モジュールを早期に完成させ、まず動物で実験したあと、人間用に使う。

⊙太陽研究の強化。太陽活動を常時観測し、太陽のコロナから大量の電子や陽子が放出される危険な「太陽フレア」を、できる限り早く宇宙飛行士に警告するために、自動観測装置を太陽を回る軌道に投入することも含む。

⊙米国および国際的な宇宙計画にロシアのエネルギヤロケットやプロトンロケットを、利用する。米国はロシアのブースターに頼るのをいやがるだろうが、エネルギヤはアポロを月に送ったサターン5型ロケットにほぼ匹敵する打ち上げ能力がある。米国はサターン5型の製造をすでにやめており、復活させることはできない。プロトンは現役のロケットでも

っとも信頼性の高いブースターだ。ロシアはこの技術を売ってドルを手に入れたいと切に望んでいる。

⊙日本のNASDA（宇宙開発事業団）や宇宙科学研究所、ESA（欧州宇宙機関）、ロシア宇宙省、カナダやほかの国々との共同プロジェクト。対等の協力であるべきであり、米国が采配を振ることにこだわってはいけない。無人火星探査では、すでにそのような計画が始まっている。有人飛行にとっては国際宇宙ステーションが活動の中心となる。そうやって、地球の低軌道で共同模擬惑星飛行を訓練する。これらの計画の基本的目的の一つは、優秀な技術を出し合って協力するという伝統をつくることであるべきだ。

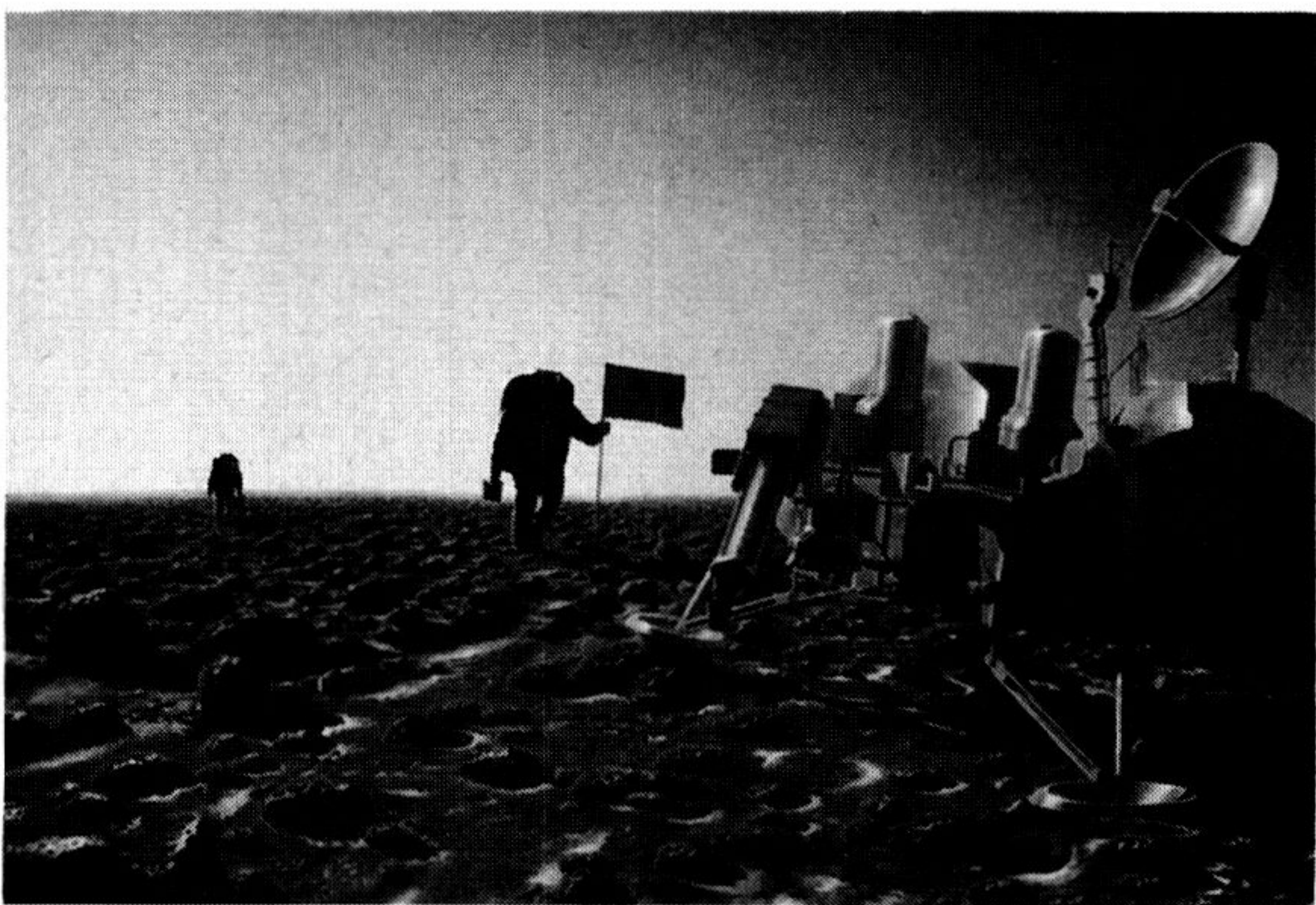
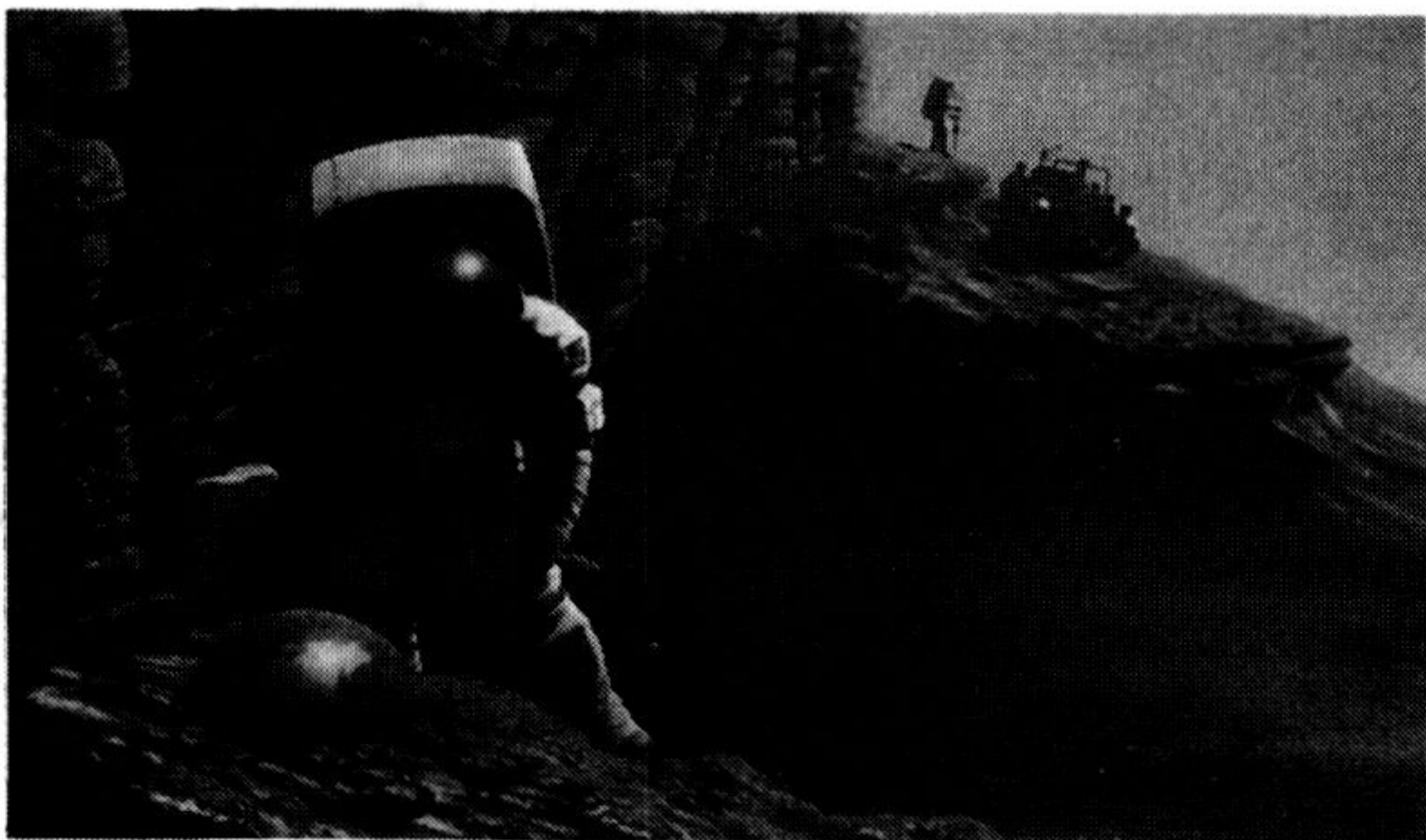
⊙最新のロボットと人工知能を利用して、走行車や気球、火星探査用の航空機などの技術開発を行ない、国際共同の最初の無人試料回収飛行を実現する。火星から試料を持ち帰る無人探査機は地球近傍小惑星や月でテストする。試料をとる月の場所を念入りに選び、持ち帰った試料の年代を測定し、地球初期の歴史を理解するのに役立てる。

⊙火星の物質から燃料や酸素を製造する技術の開発。マーチン・マリエッタ社のロバート・ズブリンたちがつくった初期の装置に基づく推定では、火星の土数キログラムを利用すれば信頼性の高いデルタロケットで地球に戻れる。

⊙地上での火星への長期飛行のシミュレーションで、宇宙飛行士たちに起こり得る社会的・心理的問題に焦点をあてる。

⊙火星に早く到着するためのコンスタントな推進力などの新技術の開発。放射線や無重力の影響が一年以上も続くとあまりにも危険なので、この技術は必要不可欠である。
⊙火星への飛行時間から見て、中間目標として月よりも優れていると思われる地球近傍小惑星を徹底的に研究する。
⊙NASAやその他の国の宇宙当局による科学研究のより一層の強化。宇宙探検に必要な基礎科学や、これまでに得られたデータの徹底解析も含む。

これらの提案は、有人火星飛行の全費用の一部となり、一〇年以上はほかの国々と共同でなされるもので、現在の宇宙開発予算の一部にしかならない。しかし実現すれば、正確な費用の見積もりや、危険や利益について事前調査を行なうのに役立つ。特殊な飛行目的の機材に時期尚早の肩入れをすることなく、有人火星探検に向けて積極的に前進を続けることができる。これらの提案のほとんど、いやおそらくすべては、たとえあと数十年、ほかの天体に人を送ることができないことが確実になったとしても、別の正当な根拠を持っている。火星への航海の実現性を高めるこうした着実な鼓動は、多くの人の心のなかに広がりつつある、将来への悲観を打破するものになるだろう。

このほかにも、まだある。多くのものが具体的にはなっていないが、私はそれらが魅力的

上　もしこんなことがあれば世界中があっと驚くだろうが、でもまずあり得ない火星探検での大発見。知られざる象形文字で表わされた、２億5000万年前の地球儀が発掘された！　1991年、パット・ローリングスによる想像図。

下　火星のユートピア平原に放置されていたバイキング２号の着陸機に近づく２人の宇宙飛行士。早朝の弱い光のために、宇宙飛行士がどんな旗を持っているのか、よく見えない。おそらく地球を示す旗であろう。パット・ローリングスによる想像図。(NASA/SAIC提供)

で心に訴えるものであることを知っている。宇宙飛行は、私たちすべてにではないにしても、多くの人の心の奥の深いところに語りかけてくるのである。はっきりと目に見える宇宙計画は、宇宙的な視野を与え、宇宙における私たちの位置について理解を深めさせることによって、地球の環境が壊れやすいものであること、地球のすべての国家や人々が危険と責任とを共有していることを明らかにしてくれる。有人火星飛行は、私たちのあいだのさまよえる人、とりわけ若い人にとって冒険に満ち、希望にあふれた見通しを提供するだろう。一部の代表による探検であっても、社会的には有益なのである。

私が宇宙計画の将来について、大学で、企業や軍関係の集まりで、あるいは各種の職業団体などで話すとき、聴衆は実社会の政治や経済上の障害に対して私ほど忍耐強くないことを繰り返し見てきた。彼らは障害が一掃され、ウォストークやアポロの栄光の日々を再び手にし、さらに進んでもう一度、別の天体を踏みしめることを望んでいる。私たちは以前にそれを成し遂げた、もう一度できると彼らはいう。しかし私は、そのような講演会に来ているのはとりわけ熱烈な宇宙ファンなのだと思うことにしている。

一九六九年に、アポロ計画がその費用に見合う価値があると思ったのは米国民の半分以下だった。しかし月面着陸二五周年記念日には、それが三分の二に増えていた。問題を抱えているにもかかわらず、NASAは六三パーセントの米国民にすばらしい仕事をしていると評価されていた。CBSニュースの世論調査によれば、費用の問題にふれなければ、米国民の

五五パーセントが米国が火星探検に宇宙飛行士を送るのは好ましいとしている。青年では六八パーセントにのぼる。私は「宇宙探検」というのは魅力的な言葉だと思う。

人間的な欠点があろうとも、どれほど有人飛行計画が瀕死の状態にあろうとも（ハッブル宇宙望遠鏡の修理飛行はそれを逆転するのに役立っただろうが）、米ロの宇宙飛行士がいまだに人類の英雄と広く認められているのは、偶然ではない。ある科学者仲間が、西洋文明と接触のない石器時代文化を訪ねて、ニューギニア高地へ行った最近の旅行について話してくれた。彼らは腕時計や清涼飲料、冷凍食品を知らない。しかし彼らはアポロ11号を知っていた。人類が月の上を歩いたことも知っていた。彼らはアームストロング、オルドリン、コリンズの名前を知っていた。彼らは最近はだれが月に行ったのか知りたがっていた、という。

未来志向の計画が、政治的困難を乗り越えて、長い年月ののちにやっと実現するとしたら、それは未来があることを絶えず思い出させるからである。ほかの天体の地を踏むのは単なるピクト人でもセルビア人でもトンガ人でもなく人類なのだ、と私たちの耳にささやきかける。

宇宙探検は科学的な目的や科学的な思考法、そして科学的な語彙を世間に広める。それによって一般の知的関心の水準が上がる。昔の人はだれも知らなかったことを私たちが理解しているという興奮は（とりわけそれにかかわった科学者に大きいが、だれにでも多少は認められる）社会中に広がり、跳ね返ってまた私たちのところに戻ってくる。それは、未解決のほかの問題に取り組む私たちをも勇気づけてくれる。そして、社会に楽観的な気分をみなぎ

らせる。これまで手に負えなかった社会問題を解決しようとするときに、緊急に必要とされるような重要な判断を流通させる。それは新しい世代の科学者に刺激を与える。メディアがもっと科学を、とりわけ結果やその意味ばかりでなく、その手順も述べるようになれば、社会はもっと健全になると私は信じる。あらゆるところで人々は理解したいと切望しているのだ。

子どものころ、飛ぶ夢を見ると嬉しかった。機械に乗ってではなく私自身が飛んでいる夢だ。私は飛んだり跳ねたりして、ゆっくりと、しだいに高く飛び上がることができるようになる。地面に降りるまでの時間がだんだん長くなり、やがて、とても高い弧を描いて、とうとう下に戻らなくなる。私は高層ビルのてっぺん近くの窪みに怪獣(ガーゴイル)のようにとまり、あるいは雲の上にそっと降りたつ。少なくとも一〇〇回分くらいのさまざまな違い(バリエーション)があったはずだ。夢のなかで飛ぶことは私の心をある状態にした。言葉でいうのは不可能だが、どんな感じだったか、いまでも思い出すことができる。まず頭のなかで、そしてみぞおちのあたりで何かを行なう。それから意志の力だけで身体を持ち上げていくと、手足はぐったりとぶらさがる。そして舞い上がるのだ。

同じような夢を見たことがあるのは、私だけではあるまい。おそらくほとんどの人、おそらくすべての人が見ているはずだ。おそらく一〇〇〇万年前あるいはもっと前に、私たちの

祖先が原始の森で枝から枝に優雅に飛び移っていたころから、この夢の伝統は続いているのだろう。鳥のように高く飛びたいという願いは、レオナルド・ダ・ヴィンチやライト兄弟を含め、大勢の飛行の先駆者たちの動機となった。おそらくそれは宇宙飛行の魅力の一部でもあるだろう。

どんな天体を回る軌道上でも、また惑星間飛行でも、人は本当に無重量状態となる。床をちょっと押せば、宇宙船の天井まで飛んで行くことができる。細長い宇宙船のなかを宙がえりしながら移動することだってできる。ほとんどすべての宇宙飛行士が、無重量を楽しんだことを報告している。しかし宇宙船はまだとても小さいし、宇宙遊泳はとても用心深く行なわれているので、機械の力を借りず、ひももつけずに、ほんのちょっと押すだけで自分を進め、空高く、惑星間の暗黒へ飛んで行くという驚異と喜びを楽しんだ人類はまだいない。そうなれば生ける人間衛星となり、あるいは太陽を回る人間惑星になるのだが。

惑星探検は、一〇〇万年前に東アフリカのサバンナで狩猟採集をしていた時代から私たちの内にあった、冒険心やさすらいに憧れる心や探究心を満足させてくれる。歴史的な必然性を考えれば、ひょっとして私たちの時代に再び始めることができるのでは、と私は思う。

ほかの天体の探検には、軍隊でもっとも必要とされる大胆で計画的で協調的な冒険心と勇気という資質が欠かせない。月へ向かったアポロ17号の夜の打ち上げはいうまでもない。あの打ち上げで、そのことは証明されている。空母から発艦しようとしているF14戦闘機を見

てほしい。優雅に左右にかしぎ、アフターバーナーから火を噴きながら、飛び立って行く姿には、何か人を寄せつけないものがある。少なくとも私にはそうだ。空母機動部隊の目的についてあまり知らなくても、この光景には、感情の奥深いところにまで響くものがある。それは私の別の部分に語りかける。罪のなすり合いや政治はいらない。とにかく飛びたいのだ、と。

「私は……過去のだれよりも遠くに行くだけでなく、人が行ける可能な限り遠くへ行きたいという大望を持っていた」と、一八世紀に太平洋を探検したキャプテン・ジェームズ・クックは書いている。それから二世紀後、ユーリ・ロマネンコは歴史上もっとも長い宇宙飛行を終えて地球に戻り、「宇宙は磁石だ。……いったんそこに行ったら、どうやってそこに戻るかということしか考えられなくなる」といった。

技術に詳しいとはいえないジャン＝ジャック・ルソーも、こう思っていた。

星ははるか遠い上空にある。私たちがそこに近づき、つかみとるには、巨大なはしごのような予備教育と計器と機械が必要だ。

哲学者のバートランド・ラッセルも一九五九年に「将来の宇宙旅行の可能性」について書いている。

いまのところそれは根拠のない幻想とされているが、その関心を消すようなことがあってはならない。その可能性は真剣に検討されなければならない。なぜなら、冒険心にとんだ若者に、戦争のない世界にも、冒険的で危険を伴う栄光が必要であることを示すことができるから(*2)。この種の競争には限界がない。勝利はつぎの段階への前奏にすぎず、合理的な希望に限界を設定することはできない。

結局、先に考えた「実際的な」根拠のどれより、これらのほうが、火星や別の天体に行く理由としてふさわしいだろう。しばらくのあいだ、火星へ前進するための重要な一歩は、地球上で重要な進歩をなすことだ。地球文明が直面している社会的・経済的・政治的な問題を適切に解決すれば、私たちの別の目標に向けて、大量の物質的・人的資源を振り当てることができる。

地球でしなければならないことはたくさんあり、私たちはしっかり取り組まなければならない。しかし私たちは基本的に生物学的理由から、フロンティアを必要とする生物種なのだ。その人類が歩を進め、新しい角を曲がるたびに、豊富な活力を受け取ってきた。それは人類を何世紀も支えることができるものである。

新世界は近くにある。そして私たちはどうやってそこに着けるかを知っている。

（＊1）その当時ですら容易ではなかった。ポルトガルの年代記作者ゴメス・エアネス・デ・スラーラはエンリケ航海王子の事前検討を記録している。「王子は、利益の見込みが定かではない場所にわざわざ航海するような者はだれもいないことは明らかだから、自分かほかの王子がその知識を得るための努力をしなければ、船員も商人もあえてそのようなことをする者はいないだろう、と思われた」

（＊2）「冒険的で危険を伴う栄光」というラッセルの言葉は注目すべきである。もし私たちが危険のない宇宙船をつくることができたとしても、むしろ逆効果である。危険は切り離すことのできない栄光の一部分なのだ。

17

衝突する天体

地球やそのほかの天体が存在すべきところにとどまり、荒々しい出来事によってしかそこから動くことがないのは、自然の法則である。

アリストテレス（紀元前三八四〜前三二二年）『自然学』から

土星には、おかしなものがあった。一六一〇年、ガリレオが世界で初めて天体望遠鏡を使ってその惑星（当時知られていたもっとも遠い天体）を見たとき、彼は両側に一つずつ、二つの付属物を発見した。彼はそれを「取っ手」になぞらえた。ほかの天文家はそれを「耳」と呼んだ。宇宙は多くの驚きに満ちているが、耳のような取っ手がついた惑星というのは変わっている。ガリレオはこの奇妙ななぞが解けないまま墓に入った。

年月がたち、観測者たちはその耳が、なんと大きくなったり小さくなったりするのに気づいた。結局、ガリレオが発見したものは、土星に接しないで赤道を取り巻くごく薄い環であることが明らかになった。数年のうちに、地球と土星の軌道位置が変わって、環を真横から見るようになると、薄い環は消えたように見えた。さらに年がたって、環の面がよく見え出

すと、耳は大きくなった。そのことは、土星の周りに一つの環があることを意味するのだろうか？　一枚の薄くて平らな固体の板があって、それに惑星が入る穴が開いているのだろうか？　それはどこからやってきたのだろうか？

こうした疑問を調べていくと、私たちは、天体を破壊する衝突が現実にあること、そして人類にとって環境悪化とはまったく異なる危険があることを知り、私たちが生き延びるために惑星たちを離れたところに行かなければならない理由（すでに述べた理由よりも強力な）にたどりつく。

いまや私たちは、確実に複数ある土星の環は、膨大な数の小さな氷の群れであり、それぞれ異なる軌道を回り、巨大な重力によって土星に捕らえられていることを知っている。小天体の大きさは、細かいちりの粒から家くらいまでの範囲がある。そのどれも、接近飛行しても写真に撮れるほど大きくはない。細かい同心円の集まりが、レコード盤の溝（実際はもちろん一つの渦巻きだが）のように美しく広がっている。これらの環は、二機のボイジャー探査機が一九八〇年と八一年に接近飛行した際に、本当の姿が明らかにされた。今世紀では、このアールデコ風の土星の多くの環は、未来を指す象徴になっている。

一九六〇年代末に科学のある会合で、私は惑星科学における未解決の問題を要約するよう求められた。私が示した一つは、すべての惑星のなかで、なぜ土星だけが環を持つのかという疑問だった。のちにボイジャーが発見したことは、まだ問題にはなっていなかった。太陽

系の四つの巨大惑星、木星、土星、天王星、海王星のすべては、実は環を持っている。しかし、当時はそれをだれも知らなかった。

各惑星の環は、それぞれはっきりした特徴を持っている。木星の環は希薄で、主に黒いごく小さな粒子でできている。土星の明るい環たちは、主に凍った水でできており、環は数千に分かれていて、ねじれたものもあり、奇妙な黒っぽいスポーク状の模様が浮き出たり消えたりしている。天王星の暗い環は、木炭か煙突のすすのような、炭素元素と有機分子でできているようだ。天王星は九本の環を持ち、そのいくつかはときどき呼吸するように、伸びたり縮んだりしている。海王星の環はもっとも希薄で、厚みが大きく変化していて、地球から発見されたとき、弓状の欠けた円にしか見えなかった。一つは環より惑星に少し近く、もう一つは環より少し遠くにある二つの衛星にはさまれており、その二つの衛星の重力に引っ張られてかたちを保っているような環もある。各惑星の環は、この世ならぬ独自の美しさを見せている。

環はどのようにしてできるのだろう？　一つの可能性は潮汐である。もし、迷子の天体がある惑星の近くを通ると、その侵入天体の惑星に近い側が遠い側より強く惑星の重力に引っぱられる。もし侵入者がかなり惑星に近づき、その内部の結合状態が弱かったら、それは完全に粉砕されてしまう。時折、私たちはこんな出来事が、木星あるいは太陽に近寄りすぎた彗星で起こるのを観察する。もう一つは、ボイジャーが外部太陽系を探査した結果から浮か

び上がってきた、こんな可能性だ。それは、環ができるのは、天体が衛星に衝突し、衛星が砕けてしまうからというのだ。どちらも原因になっていると思われる。

惑星間の空間には、浮浪者のようなさまざまな小天体が漂っていて、いずれも太陽を回っている。そのうちの一部は、一つの郡あるいは州ほどの大きさがあり、さらに多くが村あるいは町ほどの表面積を持つ。小さなものは大きいものより多く、ちりの粒ほどのものまである。なかには、長く延びた長円形の軌道を動いていて、一個かそれ以上の惑星の軌道を周期的に横切るものもある。

不幸なことにしばしば、それらの道の途中に天体がいることがある。衝突は侵入者と、ぶつかられる衛星（少なくとも衝突場所の周辺）のどちらも粉々に砕いてしまう。それで生じた破片は、惑星の重力から逃れるほど速くは飛んでいないので、しばらくのあいだ、新しい環を形成する。それは衝突し合った二つの天体と同じ成分だが、ふつうはぶつかった浮浪者より標的となった衛星の成分が多い。衝突した天体が氷でできていれば、氷の粒でできた環が生まれるだろう。それらが有機分子でできていれば、有機物粒子の環ができるだろう。有機物は放射線によってゆっくり炭素に分解される。土星の環の全質量は、一個の氷の衛星が完全に粉砕されてできる程度に過ぎない。ほかの三つの巨大惑星の環も同様に、小さな衛星たちの破壊でできたことが説明できる。

その衛星が惑星に非常に近くなければ、飛び散った破片は徐々に再集結していく。全部で

はなくても、大部分がそうなる。大小さまざまな破片は衝突前の衛星とほぼ同じ軌道にあり、無秩序にくっついてゆく。その結果、衛星の核だったものがこんどは表面に来たり、その反対になったりする。そうしてできた乱雑な表面はとても奇妙に見えるだろう。天王星の衛星の一つであるミランダは、表面がごちゃごちゃしているので、このようにしてできたのだろう。

米国の惑星地質学者、ユージン・シューメーカーは、外部太陽系の衛星の多くは、太陽系と惑星が星間ガスとちりが凝集してできて以来、四五億年のあいだに一度ならず何度も消滅しては再形成された、と提唱している。ボイジャーが外部太陽系を調べて送ってきた写真は、穏やかで孤独な不寝番が宇宙からの侵入者に突然襲われて引きつったような天体や、破壊的な衝突の跡を残す天体や、さらには不死鳥（フェニックス）のように自らの灰（破片）から自身を再構成した衛星たちの姿を示している。

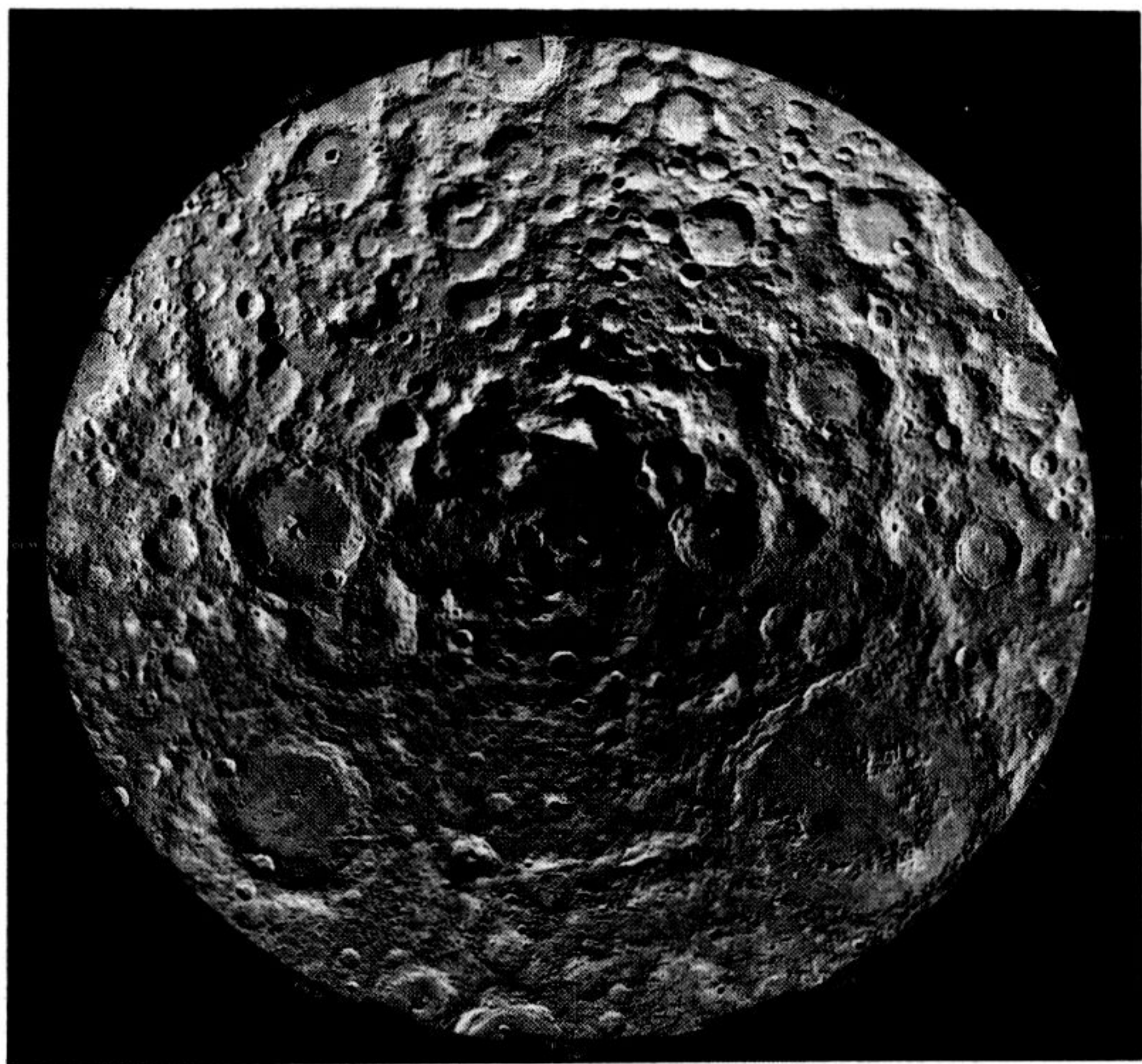
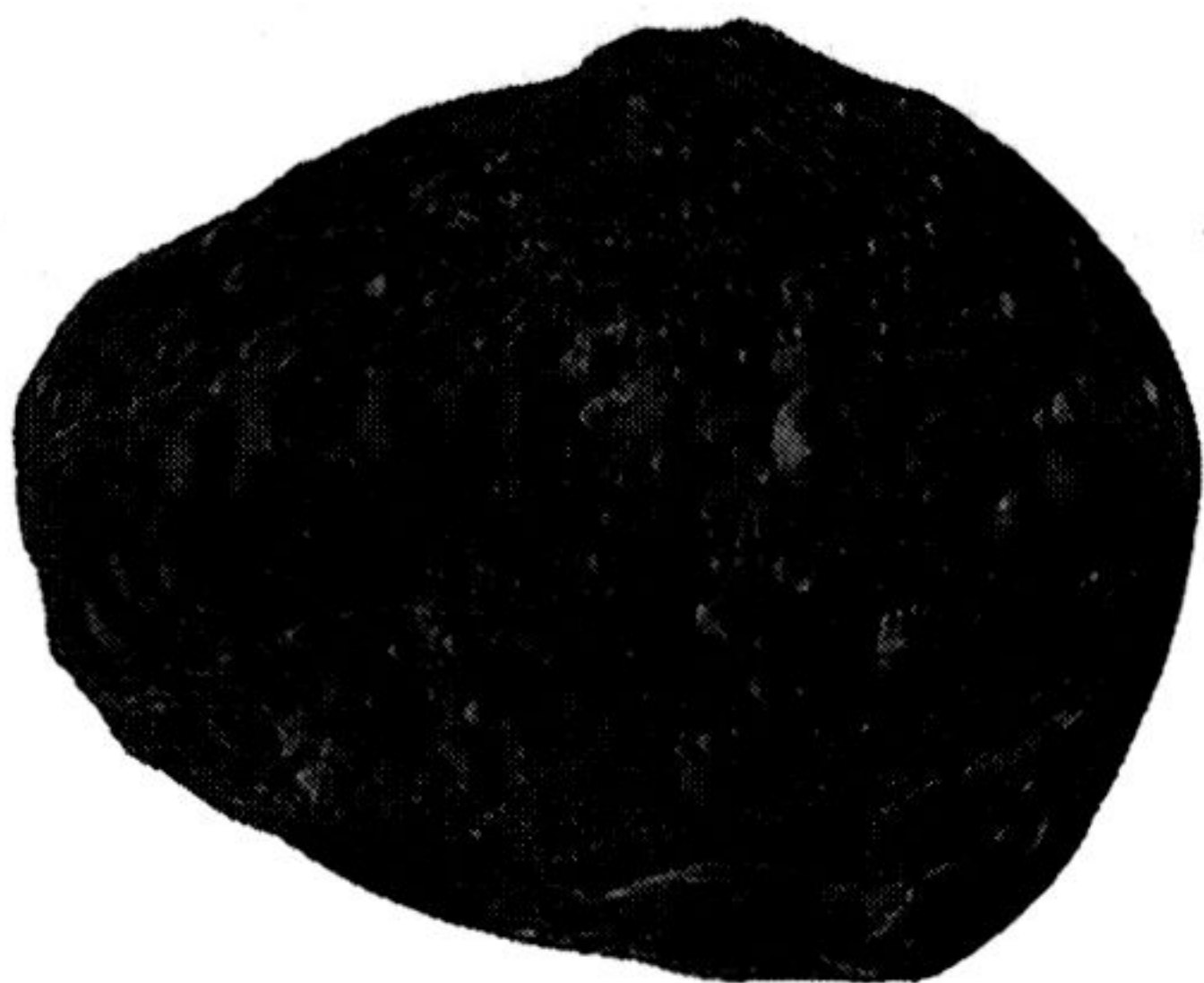
しかし、惑星に非常に近い衛星は、粉々に砕かれてしまうと、近くの惑星の重力による潮汐が再形成を妨げるので、衛星には戻れない。そのため、いったん環状に広がってしまった破片は、人の生涯に比べたらずっと長い期間生き延びる。現在、巨大な惑星の周りを回っている小さな目立たない衛星の多くは、やがては巨大で美しい環として花開くことだろう。

こうした考えは、太陽系にある多くの衛星の姿によって支持される。火星の衛星で内側にあるフォボスは、スティックニーと呼ぶ大きなクレーターを持っている。土星の内側にある

衛星ミマスには、ハーシェルという巨大クレーターがある。これらのクレーターは、私たちの月のクレーターや太陽系全体のクレーターと同じように、衝突によってできたのである。侵入者が自分より大きな天体に激突して、大爆発を起こす。ボウル型のクレーターがえぐられ、小さな衝突体は破壊される。スティックニーやハーシェルのクレーターを掘った侵入者がもう少し大きかったら、フォボスやミマスを粉々に砕いていただろう。これらの衛星は宇宙の破壊屋からかろうじて逃れたのである。ほかの多くの衛星はそれを免れなかった。

ある天体が攻撃されるたびに、小さな侵入者が一つ消えてなくなる。太陽系規模の破壊競争、消耗戦のようなことが起こるのだ。こうした衝突が何度も起こったという事実は、ならず者の天体がたくさんなくなったことを意味する。太陽の周りの円軌道にあるものや、ほかの天体の軌道を横切らないものは、惑星にぶつかることはないだろう。細長い楕円軌道にあるものや、ほかの惑星軌道を横切るものは、遅かれ早かれ衝突するか、ニアミスによって強い重力の影響を受け太陽系から放り出されるだろう。

惑星たちが、太陽を取り巻くガスやちりの巨大で平らな雲、いまでも若い近くの恒星の周りに見られるような雲から順々に凝縮した小天体がさらに集合してできたことはほぼ確かだろう。そうだとすれば、太陽系の歴史の初期、衝突を繰り返してがらんどうになる前には、私たちが今日見るよりもっと多くの天体があったに違いない。

実際に、このことの明らかな証拠が身近にある。私たちに近い宇宙で、侵入者の小天体の

上　火星の衛星フォボス。小惑星帯の天体が火星に捕らえられたと考えられている。長径約10キロメートルで、6500万年前に地球の恐竜時代を終わらせた天体と同じくらいの大きさだ。(USGS提供)

下　無数の衝突で荒れ果てた月の南極周辺。探査機クレメンタインによるモザイク写真。(米国海軍研究所、USGS提供)

数を勘定すれば、それらが月にぶつかる頻度を見積もることができる。侵入者の数がいまより決して少なくなかったと控えめに仮定をしよう。そこで月にいくつのクレーターがあるべきか計算できる。その数は、月の荒れた高地に見られる数よりはるかに少ないのだ。月の上に予想外に多くクレーターがあることは、太陽系が初期には激動していて、衝突軌道にある多くの天体によってかきまわされていたことを教えてくれる。これは理屈に合っている。なぜなら、それらは星間のちりから成長したずっと小さな小天体が集まってできたものだからだ。四〇億年前には、月への衝突はいまの数百倍も頻繁に起こり、惑星たちがまだ出来上がっていなかった四五億年前は、私たちの静かな時代よりたぶん一〇億倍もの衝突が起こっていただろう。

この混沌は、今日の惑星たちを飾っている環よりはるかに華々しい環をもたらしたかもしれない。惑星がそのころ小さな衛星を持っていたなら、地球や火星、ほかの小さな惑星も、やはり環で身を飾ることになったかもしれない。

私たちの月の起源に関してもっとも満足できる説明は、火星ほどの大きさの天体が地球に衝突した四五億年ほど前にできたというものだ。これは、アポロ計画で持ち帰った試料で明らかになった月の化学に基づいている。石でできた私たちの惑星のマントルの多くがちりや熱いガスになって宇宙に飛び散った。破片のいくらかは地球を回る軌道に入り、やがて原子どうし、岩石どうしが集まって次第に再集積していった。その未知の衝突天体がもう少し大

きかったら、地球が消滅する結果になっただろう。おそらくこの太陽系にかつては、現在とは別の天体たち、たぶん生命が活動していた天体さえいくつかあったであろう。それらはある悪魔の小天体に衝突されて完全に破壊され、私たちは今日その痕跡さえつかめないのだ。

初期の太陽系で起こったと考えられる情景は、厳粛な一連の出来事によって設計どおりに地球が形成されたなどというものでは、まったくない。そうではなく、信じられないほどの猛威のなかで、まったく偶然の幸運によって、私たちの惑星はつくられ、生き残ってきたらしい(*1)。私たちの天体は、巨匠によって彫刻されたものとは思われない。そして、宇宙そのものが私たちのためにつくられたという兆候もまた、ないのである。

小天体は次第に減ってきており、今日ではそれらは小惑星、彗星、小衛星とさまざまに名づけられている。しかし、これらは人間の勝手な分類で、本物の小天体は人間がつくった仕分けどおりにはいかない。小惑星(英語のアステロイドは「星のようなもの」との意味だが、実際はそんなことはない)のいくらかは岩石でできており、金属でできたものや、有機物に富んだものもある。直径一〇〇〇キロメートルより大きなものはない。それらは主に火星と木星の軌道の間に帯のように散らばっている。天文学者たちはかつて、この小惑星帯にある小惑星は消滅した天体の残骸だと考えた。しかし、私が述べてきたように、現在ではそれとは違う考え方が注目されている。それは、太陽系はかつて小惑星のような天体に満ちていて、

そのいくらかが惑星たちをつくることになったという見方だ。ただ、木星近くの小惑星帯だけは、この最大の惑星による重力潮汐によって、破片が合体して新天体を形成するのを妨げられたのだ。小惑星は、かつて存在した天体の残骸ではなく、天体をつくるブロックのはずだったのに、そうはならないように運命づけられていたと思われる。

一キロメートル程度の小さなものまで入れると、数百万個もの小惑星があると見られる。だが、惑星間の空間が広大であるため、外部太陽系に向かう探査機に深刻な損傷を与えるには、あまりにも数が少ない。小惑星帯の小惑星であるガスプラとイーダは、木星への航海を続けていたガリレオ探査機によって一九九一年と九三年、それぞれはじめての写真が撮影された。

小惑星帯の小惑星はほとんど、そこを離れることはない。それらを調査するには、ガリレオ探査機のように直接訪問するしかない。一方、ハレー彗星が一九一〇年と八六年にやってきたように、彗星はときどき私たちのもとへ訪ねてくる。彗星は主に氷でできており、それに少量の岩石と有機物とが加わっている。氷は熱せられると蒸発して、太陽風と太陽光の圧力によって長くてきれいな尾を後方へ吹き流す。太陽のそばを何度も通ったあとは、氷がすべて蒸発し、岩石と有機物だけの塊となる。結びつける役割を果たしていた氷が消えると、残った粒子は彗星の軌道にちりぢりに散らばり、太陽の周りに残骸の尾をつくる。

砂粒ほどの大きさの彗星のかけらが地球の大気に高速で侵入するたびに、そのかけらが燃

えて、地上の観測者が流星と呼ぶ瞬間的な光線の跡を残す。解体しつつあるいくつかの彗星は、地球の軌道と交差する軌道を持つ。そこで毎年、太陽を規則正しく周回する地球は、軌道を回る彗星の残骸の帯を通り抜ける。私たちはそのとき、空が彗星の残骸で輝き光る流星群や、時には流星の嵐(ストーム)さえ目撃する。たとえば、ペルセウス流星群は、毎年八月一二日ごろ見られるが、これは消えゆくスウィフト・タットル彗星に由来する。流星群の美しさは、私たちをけっして欺くことはない。なぜなら、天体の消滅に結びつく夜空への光り輝く訪問者は、繰り返し私たちを訪れるからである。

いくつかの小惑星は、ときどき少量のガスを放出したり、一時的な尾をつくったりさえして、彗星と小惑星との合いの子のような状態にある。惑星たちの周りを回っているいくつかの小衛星はたぶん、小惑星や彗星が捕らえられたものだろう。火星の衛星や木星の外側の衛星たちは、そうした天体の仲間かもしれない。

重力は、高く突き出しているあらゆるものをなめらかにしてしまう。しかし、山やその他の突出部を自らの重みで崩壊させ、その天体を丸くさせるだけの重力は、巨大な天体にしか存在しない。実際に、私たちがその形を観察すると、小天体はほとんど常に不格好で、不規則なジャガイモのような形をしていることを発見する。

寒い、月のない夜、明け方まで起きたまま、前の年も、その前の年も撮影した同じ空の写

真を撮りつづけるのを楽しんでいる天文家たちがいる。前回もちゃんと写したのに、なぜ再びそんなことをするのかと思うかもしれない。その答えは、空が変わるからである。どんな年でも、まったく未知の、以前はけっして見られなかった天体が地球に近づいて、こうした献身的な天文家によって見つけ出されるのである。

一九九三年三月二五日、カリフォルニア州パロマ山で、時折雲がかかった夜の写真を調べていた小惑星や彗星のハンターたちが、フィルムのなかに細長いかすかなしみを見つけた。それは非常に明るい木星の近くにあった。キャロラインおよびユージン・シューメーカー夫妻とデイビッド・レビーは、すぐにほかの観測者たちに調べるように求めた。そのしみは、とても驚くべきものであることが分かった。約二〇個の小さな明るい物体が木星の周りを回り、ひもに通した真珠のように並んでいたのだった。これらはまとめてシューメーカー・レビー第9彗星と呼ばれることになった。この共同観測者がいっしょに周期彗星を発見したのは、これが九度目だったのである。

だが、これらの天体を一個の彗星と呼ぶのは、なんとも紛らわしい。群れをなしているそれらはたぶん、これまで発見されていなかった単独の彗星が砕けて残ったものだろう。その彗星は四〇億年も静かに太陽を周回しつづけていたのに、ほんの二、三十年前に木星に近づきすぎて、太陽系最大の惑星の重力によって捕らえられたのだ。一九九二年七月七日、その彗星は木星の重力潮汐によって砕け散った。

そうした彗星の内側の部分は、その外側の部分より少し強く、木星のほうへ引っぱられているはずだ。なぜなら内側部分は外側部分よりも木星に近いからだ。その引力の差は確かに小さい。私たちの足は頭よりも地球の中心に近いが、だからといって地球の重力によって、私たちが粉々に砕けてしまうことはない。そうした潮汐崩壊が起こるのは、元の彗星の内部の結合状態が非常に弱いからに違いない。砕ける前のその彗星は、氷や岩、そして有機物質がゆるく固まって、たぶん、差し渡し一〇キロメートルほどだったと思われる。

この壊れた彗星の軌道はその後、高精度で決められた。一九九四年七月一六日から二二日までのあいだに、この彗星のすべての破片はつぎつぎと木星に衝突した。最大の破片は差し渡し二、三キロメートルだったと見られる。その木星との衝突は、壮観であった。

木星の大気や雲のなかにこれらが相次いで衝突するとどんなことが起こるのか、前もってだれも分からなかった。彗星の破片は、ハローやちりに囲まれていて、見かけよりはずっと小さいのではないか。あるいは、それらの破片は密着したかたまりではなくて、砂利のかたまりか何かのように、全部の粒子が宇宙をほぼ同一の軌道でいっしょに飛んでいるのではないか。これらの可能性のいずれかが本当であれば、木星は彗星たちを何の痕跡もなく飲み込むだろう。ほかの天文学者たちは、彗星の破片が大気中に突っ込むと、少なくとも明るい火球と巨大なきのこ雲が生じるだろうと考えた。さらに別の人たちは、木星に突入したシューメーカー・レビー第9彗星の破片を伴う微粒子の濃密な雲が、木星の磁気圏を破壊し、新し

い環をつくるかもしれないと予測した。

この大きさの彗星が木星に衝突するのは、一〇〇〇年に一度しかないと計算された。それは一生に一度でなく、一二生に一度の天文事件なのだ。望遠鏡が発明されて以来、この規模の出来事は一度も起きたことがなかった。そこで一九九四年七月半ば、国際的な科学協力計画が実を結び、地上と宇宙のあらゆる望遠鏡が木星に向けられた。

天文学者たちは準備に一年以上をかけた。木星を回る軌道上の破片の軌跡が求められた。破片のすべてが木星に衝突することが分かった。その時間が精密に予測された。残念なことに計算の結果、すべての衝突は木星の夜の側、つまり地球からは見えない側で起こることが判明した(ただし、ガリレオ探査機や太陽系のはずれにいるボイジャー探査機からは観測できる)。しかし幸いなことに、すべての衝突は、木星の夜が明けて衝突点が木星の自転で地球から見えるようになる二、三分前に起こるはずだった。

最初のかけらA核が衝突するはずの瞬間が来た。地上の望遠鏡から観測した報告はなかった。ボルチモアの宇宙望遠鏡科学研究所で、惑星科学者たちはハッブル宇宙望遠鏡から送られてくるデータを映し出すモニターテレビを、沈みがちに見入っていた。異常なことは何も起こらなかった。スペースシャトルの宇宙飛行士たちは、ショウジョウバエや魚やイモリの繁殖実験を中断して、双眼鏡で木星をのぞいた。彼らも何も見えなかったと報告してきた。一〇〇〇年に一度の衝突は、不発の様相を帯び始めていた。

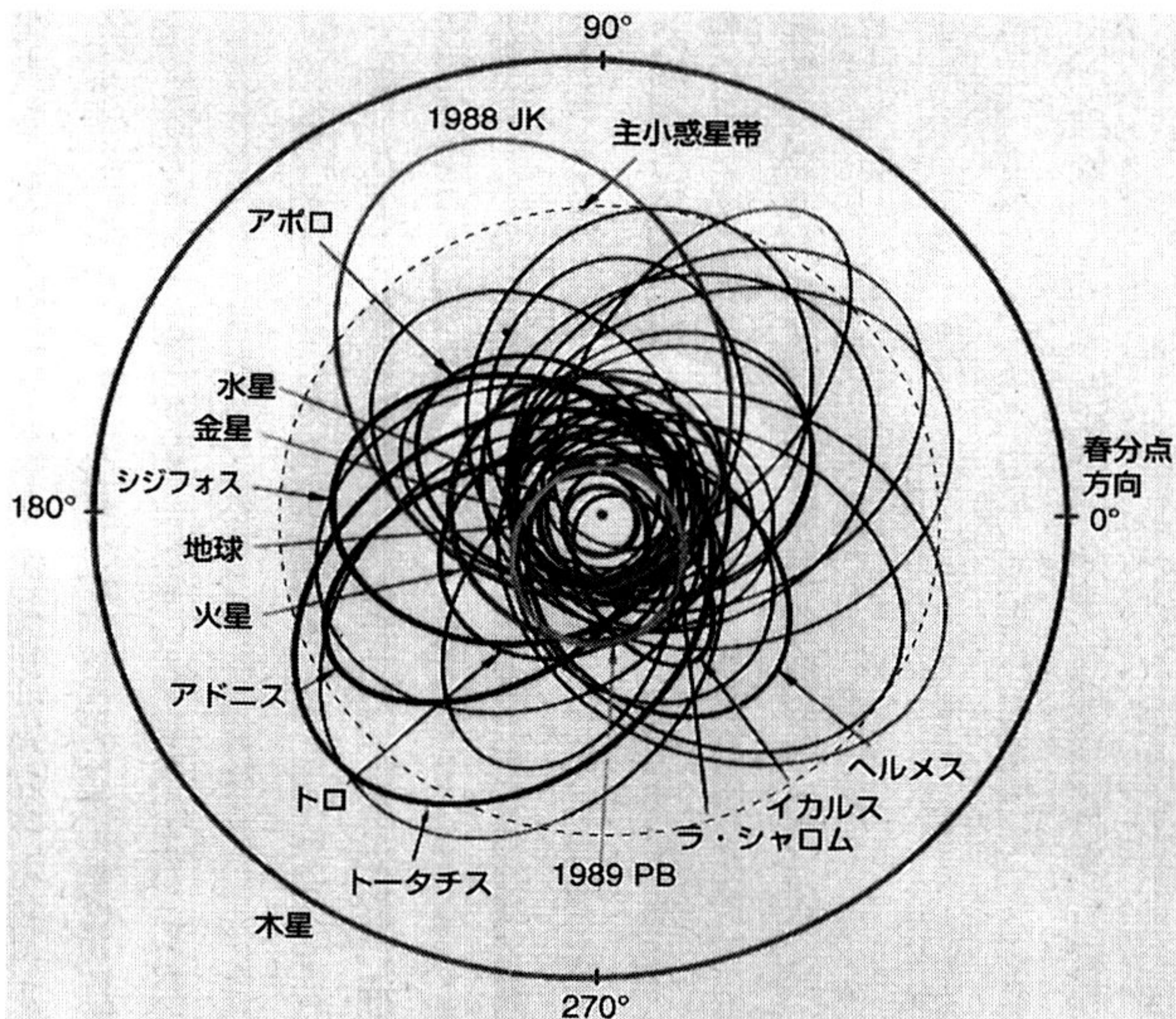
そのとき、カナリア諸島のラ・パルマにある光学望遠鏡から報告が来た。続いて、日本の電波望遠鏡、チリの欧州南天天文台、南極の極寒の荒れ地にあるシカゴ大学の装置からも観測報告が入った。ボルチモアでは、若い科学者たちがモニターテレビの周りに集まり、彼ら自身はCNNのカメラに追われながら、木星のまさにその場所に現われた何ごとかを見始めていた。驚きが当惑になり、やがて歓喜へと変わった。彼らは喝采し、歓声をあげ、躍り上がって喜んだ。笑いが部屋中にあふれた。シャンペンが抜かれた。ここには若い米国人科学者たちがいて、その代表のハイジ・ハンメルを含めて、約三分の一は女性だった。そして世界中の若者たちが、科学者になれば、おもしろくて素晴らしい仕事ができて、精神的な充足が得られると思ったことだろう。

多くの破片について、地球のどこかの観測者たちが、火球が早く高くあがったために、衝突点がまだ木星の暗闇の中にあるのに見ることができた。きのこ雲が立ちのぼっては、パンケーキのようなかたちに平たくなった。最大の破片が地球並みに大きければ、衝突点から広がる音波と重力波や変色域が見えただろう。

木星に秒速六〇キロメートルでぶつかり、大破片の運動エネルギーの一部は衝撃波に、一部は熱に変わった。火球の温度は数千度にもなったようだ。火球ときのこ雲のいくつかは、木星の残りの部分よりもはるかに明るかった。

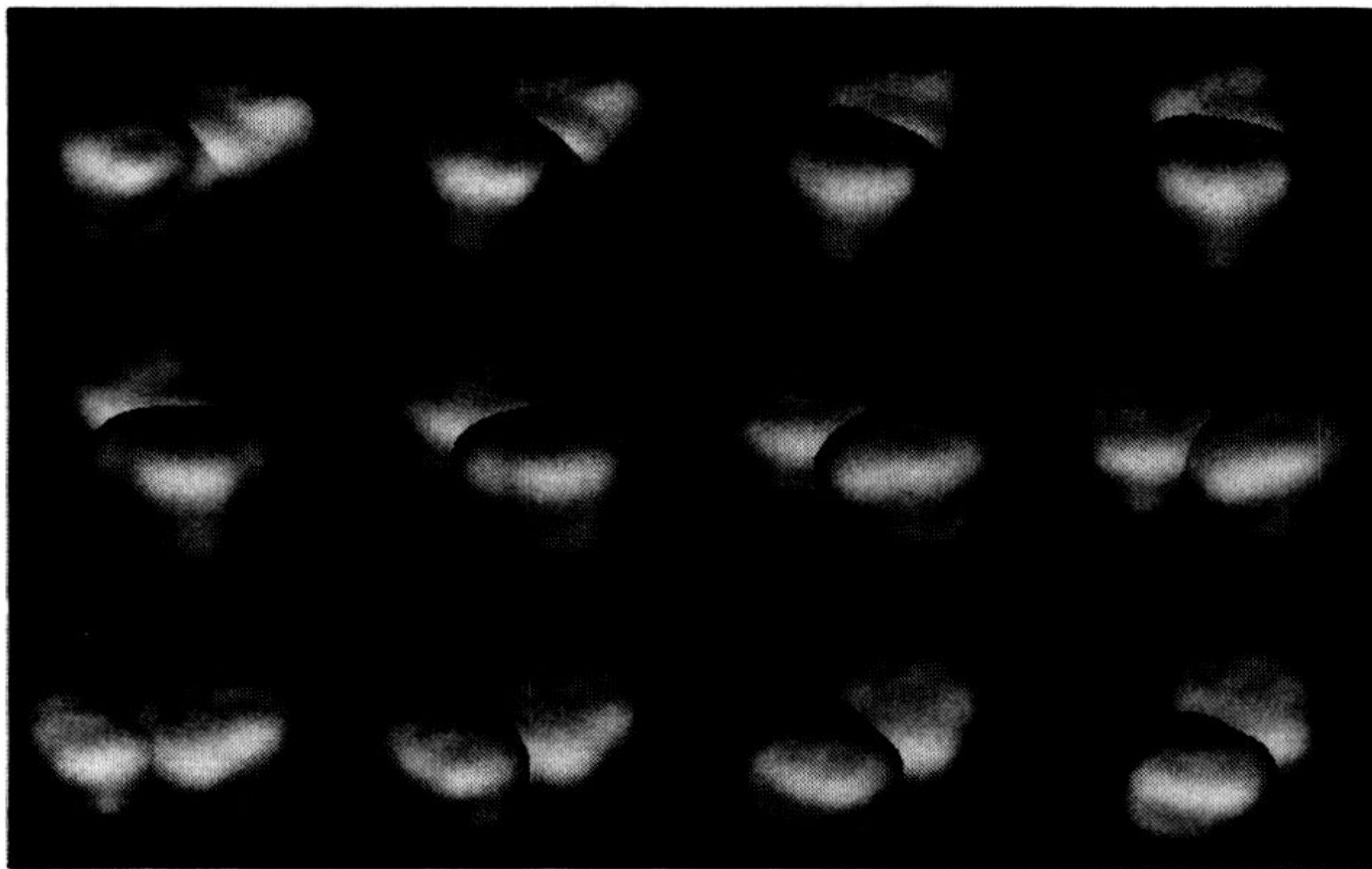
衝突の跡に残った暗いしみの原因は何だろうか？　それは、地上の観測者はふつう見るこ

とができない、深いところにある木星の雲からの物質で、それが噴き上がって広がったのかもしれない。しかし、破片はそんな深さまで到達したようには見えない。あるいはしみをつくった分子は、最初の彗星の破片にあったのかもしれない。ソ連のベガ1号、2号とESA（欧州宇宙機関）のジョット探査機がハレー彗星に接近して、彗星の四分の一ほどは有機分子であることが分かっていた。ハレー彗星の核が黒かったのはそのためだ。彗星の有機物のいくらかが衝突で生き残ったために、それでしみができたのかもしれない。それとも、しみをつくった有機物は、衝突した彗星の破片で運ばれたのではなく、衝撃波によって木星の大気から合成されたのかもしれない。

シューメーカー・レビー第9彗星の破片と木星との衝突は、世界の七つの大陸で観測された。小さな望遠鏡のアマチュア天文家でさえ、きのこ雲とそれに続く木星の雲の変色を見ることができた。スポーツ競技が競技場内と上方から自在に動くテレビカメラであらゆる角度から中継されるように、太陽系に散らばったNASA（米国航空宇宙局）の六つの探査機が、それぞれ異なった得意な観測法でこの新たな驚異を記録した。それは地球周回軌道にあるハッブル宇宙望遠鏡、国際紫外線衛星、超紫外線衛星、太陽の南極探査を中休みしたユリシーズ、木星とのランデブーに向かう途上のガリレオ、それに海王星をはるか離れて恒星に向かっているボイジャー2号だった。集まった多くのデータが解析されるにつれ、私たちの彗星と木星、それに天体たちの激しい衝突についての知識がすっかり一新されるに違いない。

地球に近づく小惑星の軌道の例。地球の軌道を横切る軌道を持つ、比較的大きめの2000個の小惑星から選んだ。小惑星のうちいくつかは、遅かれ早かれ地球とぶつかってしまう。(JPL/NASA提供)

多くの科学者たち、とりわけキャロラインとユージン・シューメーカー夫妻とデイビッド・レビーにとっては、つぎつぎと木星に死の突入をする彗星の破片に心痛むものがあった。彼らはいわば一六カ月の間、この彗星とともに暮らし、それが分裂し、ちりの雲に覆われたかけらが隠れん坊をしたり、軌道上を広がっていったりしたのを目撃した。限られた範囲ではあるが、それぞれの破片は独自の個性を持っていた。いまやそれらは、太陽系最大の惑星の上層大気の分子や原子となって消滅してしまった。私たちもそれを悼むが、同時に、彼らの壮絶な死から学びつつあるのだ。それは、太陽の広大な天体の宝庫のなかに、そうした破片が一〇〇兆以上もあることを再確認することだろう。

地球に近づく軌道を持つ小惑星は約二〇〇あることが分かっている。それらは「地球近傍」小惑星と呼ばれるのにふさわしい。それらをよく調べると、小惑星帯の小惑星たちと同様に、激しい衝突の歴史の産物であることが分かる。その多くは、かつてはもっと大きな小天体の破片や遺物らしいのだ。

二、三の例外を除いて地球近傍小惑星は、差し渡し二、三キロメートル以下しかなく、太陽を一周するのに一年から二、三年かかる。それらの約二〇パーセントは、遅かれ早かれ地球にぶつかって、破壊的な結果をもたらすよう運命づけられている。もっとも、天文学で「遅かれ早かれ」というのは、何十億年という範囲ではあるが。「偶然もなければ、危険もな

「未確認飛行大臼歯」。ここにあげたのは、地球近傍小惑星4769カスタリアが垂直な軸の周りを回転しているコンピュータモデル。JPL（ジェット推進研究所)のスティーブン・オストロらによって1989年、カスタリアが地球から560万キロメートルまで近づいたとき、アレシボのレーダーで得られたデータに基づく。この二重天体は、さらに高解像度で見ると、多くのクレーターを持つはずだ。一つの小惑星が別の小惑星にゆるやかに衝突してできたと見られる。この現象は、惑星の起源を解明する手がかりとなるかもしれない。(JPL/NASA提供)

い」状態は完全に秩序ある整然とした天界にあるというキケロの確信は、大いなる誤解なのだ。今日でさえ、シューメーカー・レビー彗星の木星との遭遇が思い知らせるように、太陽系の初期の歴史に起こったほどの規模ではないが、日常的に惑星間衝突が起きているのだ。

多くの地球近傍小惑星は、小惑星帯の小惑星のように、岩石からできている。主に金属からできているものも少しあり、そんな小惑星を地球を回る軌道へ移動させ、本格的に採鉱すれば、膨大な利益が得られるといわれてきた。頭上数百キロメートルにある高品質の鉱山というわけである。そうした一個の天体にある白金族の金属だけでも、その価値は何兆ドルにものぼると計算されている。だが、そうした物質が広く出回れば、その単価はあっというまに急落するだろう。小惑星から金属や鉱物を取り出す方法が、たとえばアリゾナ大学の惑星科学者ジョン・ルイスによって研究されている。

いくつかの地球近傍小惑星は、明らかにきわめて初期の太陽系から保存された有機物に富んでいる。JPL(ジェット推進研究所)のスティーブン・オストロによって発見されたいくつかは、二個が接触して合体したものだった。おそらく一つの大きな天体が木星のような惑星の強い重力潮汐の場を通過して二個に割れたのだろう。さらに、よく似た軌道上の二つの天体がゆるやかに衝突して合体したという興味深い可能性もある。この過程は、惑星や地球が形成される際のきっかけとなったかもしれない。少なくとも一つの小惑星(探査機ガリレオが観測したイーダ)は、自身の小さな衛星を持っている。接触した二つの小惑星と互い

に回り合っている二つの小惑星の起源は相互に関連していると思われる。

時折、私たちは小惑星が起こす「ニアミス」の話を聞く。なぜそれを「ニアミス」というのか？「ニアヒット」こそ、それにふさわしいのに。しかし、もう少し注意深く読めば、地球にもっとも近く接近しても、数十万キロないし数百万キロメートルだったことが分かる。それは月に比べれば問題にならぬほど遠い。もし、差し渡し一キロメートルよりかなり小さいものを含めて、すべての地球近傍小惑星の目録があれば、それらの軌道の将来を考え、どれが危険になりそうかを予測することができるだろう。そのなかで差し渡し一キロメートルを超すものは二〇〇〇ほどあると見られているが、私たちが実際に観測したのはわずか二、三パーセントに過ぎない。直径一〇〇メートルより大きいものは、二〇万個ほどありそうだ。

地球近傍小惑星は、神話を連想させる名前を持っている。オルフェウス、ハトホル、イカルス、アドニス、アポロ、ケルベロス、クフ、アモール、タンタロス、アトン、ミダス、ラー・シャロー厶、パエトーン、トゥタティス、ケツァルコアトル。とくに探検向きとして有望なものも二、三ある。たとえば、ネレウス。一般に、地球近傍小惑星に着陸したりそこから離陸するのは、月よりもはるかにやさしい。ネレウスは一キロメートルほどの小さな天体で、それがもっとも容易なものの一つである（＊2）。ネレウスへの旅は、本当の「新世界」への探検となるだろう。

すべて旧ソ連の数人の宇宙飛行士が、すでにネレウスへの完全な往復旅行より長い期間、

宇宙に滞在した。そこに到達するロケット技術はすでに存在する。それは火星に行くよりもずっと、いくつかの点では月に戻るよりもずっと楽な仕事である。だが、もしも何か具合悪いことがあると、数日のうちに安全に帰還することは無理のようだ。この点で、難しさは、火星への旅行と月への旅行の中間あたりにある。

将来考えられるネレウスへの多くの飛行のなかには、地球からそこに到達するのに一〇カ月、滞在が三〇日、そして帰還にはわずか三週間しか必要としないものもある。私たちはまずロボットをネレウスに送り、よく分かってから、人間を訪問させることになるだろう。私たちは、この小さな天体のかたち、構造、内部、歴史、有機化学、進化、そして彗星とのかかわりまでも調べることができるだろう。私たちは、地球にある実験室で調査するための試料を持ち帰ることができるだろう。私たちは、本当に商業的に値打ちのある資源、金属や鉱物がそこにあるかどうかを調べることができるだろう。もし、私たちが火星に人類を送ろうとしているならば、ほとんど未知の小天体である地球近傍小惑星を研究しながら、その装備や探検計画を試すのに、それらは便利で適度な中間目標になる。ここに、宇宙の大海に再び船出する用意ができたとき、私たちの足を濡らす道が開けている。

（＊1）もしそうでなければ、地球より太陽にもう少し近いか、それから少し遠いところに、今日別の惑星が存在したであろう。そうなれば、そこでは、別のまったく異なった生物が彼らの起源をたどろうとがんばっていたかもしれない。

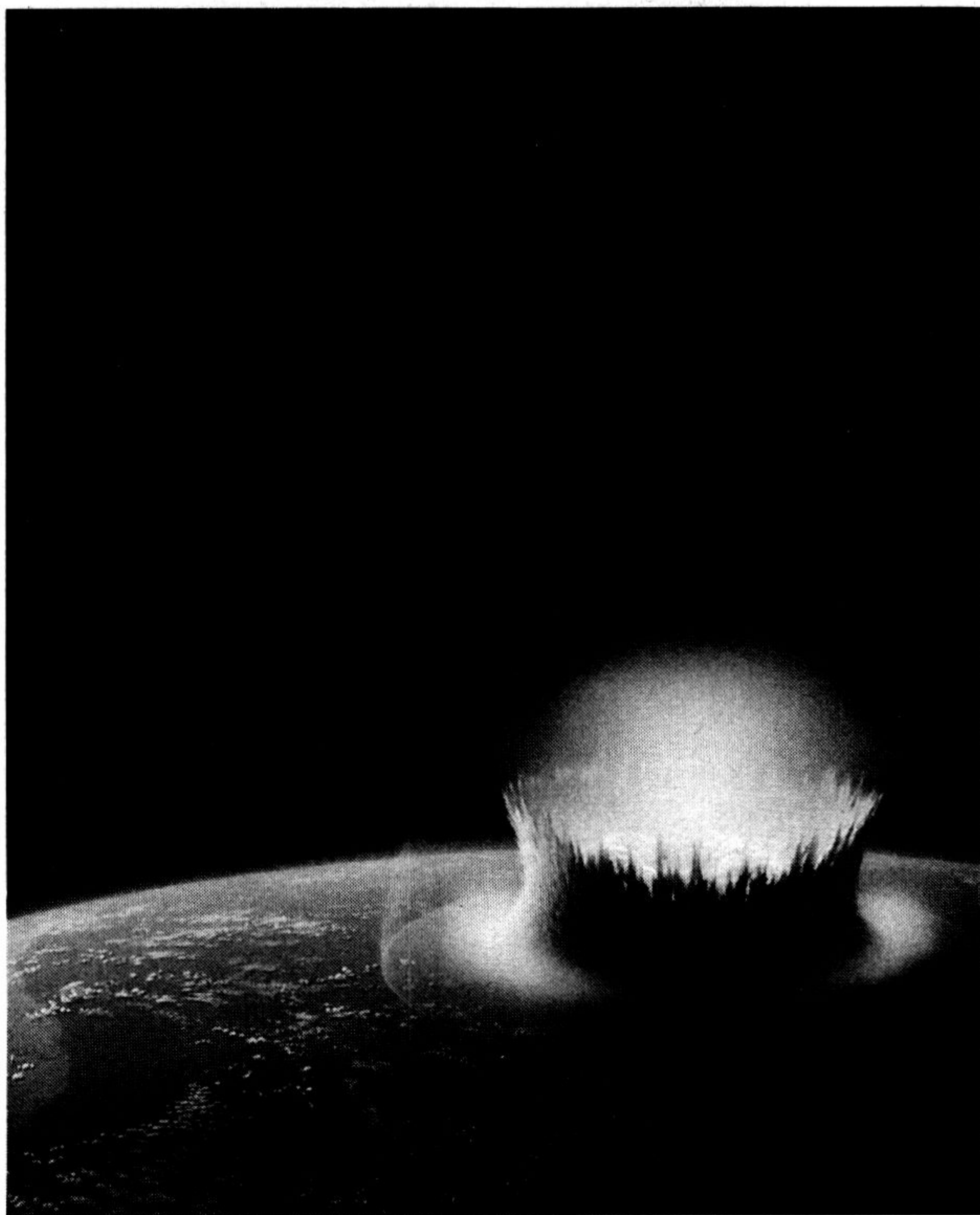
（＊2）小惑星１９９１ＪＷは、地球の軌道と非常によく似た軌道で、それに到達するのは４６６０ネレウスよりも容易である。しかし、自然の物体にしては、その軌道が地球のそれとあまりにも似すぎている。それはたぶん、アポロを月に打ち上げたサターン5型ロケットの上段が迷子になったものだろう。

18　カマリナの沼

だが、もういまとなっては改造は手おくれだ。
宇宙造化は終了し、笠石は付け終られ、切屑は百万年も昔に運び去られた。
ハーマン・メルヴィル『白鯨』（一八五一年）第二章から。阿部知二訳

カマリナは、紀元前五九八年、シラクサの植民地開拓者たちによって、地中海のシシリー島南部につくられた都市である。一、二世代ののち、カマリナはペストの脅威にさらされた。病気は近くの沼地からやって来る、という者があった。病原菌という考え方が広く受け入れられていたわけではないが、すでにいくらかの心得はあった。たとえば、マルクス・バロは紀元前一世紀に、湿地の近くに都市をつくるべきではない、と述べている。「なぜなら眼に見えない小さな生物が住んでいて、それらが空気中を漂って口や鼻から体内に入り、恐ろしい病気を引き起こすから」と。カマリナは大きな危機にあった。沼地の排水を行なう計画が立てられ、神託が求められた。しかし、神はそのような行為を許さず、いまはただ耐えよ、と告げた。だが、さらに危機感がつのり、神託は無視され、沼地の水が抜かれた。ペストは

すみやかに収まった。しかし、この沼地が外敵からカマリナの街を守っていたことに気づいたときはすでに遅かった。親類であるシラクサ人すら、敵に回った。二三〇〇年ほどあとの米国と同様、開拓者たちは母国と戦う羽目になった。紀元前五五二年、以前は沼地だった土地を通って、カマリナに攻め込んだシラクサの軍勢は、男女子どもを問わず虐殺し、街を破壊した。そして、「カマリナの沼」という言葉は、危機を逃れようとしてもっとずっと悪い危機を呼び込んでしまうことをさすたとえとなった。

白亜紀・第三紀境界の大衝突（衝突は何度かあったかもしれない）は、小惑星や彗星の恐ろしさを思い知らせてくれる。つぎつぎと大火災が発生し、世界中の草木を焼き尽くした。成層圏まで広がったちりの雲が空を暗く覆い、生き残った植物も光合成ができなくなった。つぎに、凍りつくほどの低温が全世界を見舞った。腐食性の酸の激しい雨が降り、オゾン層が著しく破壊された。そして最後に、地球が自らを癒やしたあと、長期的な温暖化が始まった。なぜなら天体衝突は、炭酸塩の厚い堆積層を蒸発させ、大量の二酸化炭素を大気中に放出させたからだ。大災害は一度ならず、連鎖反応となって襲ったのである。一つの災害で疲弊した生物は、つぎの災害で絶滅した。たとえ衝突がこのときのものよりはるかに小規模であったとしても、これほどの大変動に遭遇して、私たちの文明が生き延びられるかどうかは疑わしい。

白亜紀末、直系10キロメートルの小惑星もしくは彗星が、現在のメキシコのユカタン半島付近に落下した。その結果、すべての恐竜と、地球上に生存していたほかの生物種の75パーセントが絶滅したと考えられている。ドン・デイビスによる想像図

大きな小惑星より小さな小惑星のほうがはるかにたくさんある。だから通常、地球に衝突するのは小さな天体である。しかし長期的に見るならば、より破壊的な衝突が起こる確率は高くなる。平均すると二、三百年に一度、直径七〇メートル程度の天体が地球にぶつかる。その結果放出されるエネルギーは、これまでに行なわれた最大級の核実験に匹敵する。一万年に一度、直径二〇〇メートル程度の天体が衝突し、局地的に深刻な気候変動を引き起こす。さらに一〇〇万年に一度、直径二キロメートル以上の天体が衝突する可能性がある。これはＴＮＴ火薬一〇〇万メガトンに相当するエネルギーで、地球規模の大災害を起こすことになる。予防措置が講じられない限り、人類の大部分が死ぬだろう。一〇〇万メガトンのＴＮＴ火薬の威力は、全世界の核兵器が一度に炸裂したとしても、さらにその一〇〇倍の破壊力である。ところが一億年の単位で見ると、これさえ小さく見えてしまうほどの、白亜紀・第三紀境界の出来事と同程度の、直径一〇キロメートルかそれ以上の天体が衝突する可能性が十分ある。大型の地球近傍小惑星が持つ破壊エネルギーは、人類が手にすることができるいかなるものをも凌いでいる。

米国の惑星科学者クリストファー・カイバたちは、直径数十メートルほどの小型の小惑星や彗星は、地球の大気圏に突入すると、ばらばらになって燃え尽きてしまうことを明らかにした。そのような小天体は比較的頻繁に地球にやって来るが、大きな被害をもたらすことはない。小天体がどのくらいの頻度で地球大気に突入しているかについては、本来は大気圏で

惑星間空間の物質、おそらくは彗星の破片が、地球大気中に飛び込み、地表に到達するまでに燃え尽きるところ。背景には無数の星が輝いており、この物質は偶然、遠くの渦巻き銀河の前を通過している。直径が数百メートル、もしくはそれ以上の規模の天体が衝突すれば、地球上の文明が危機にさらされることになる。デイビッド・マリン撮影。（アングロ・オーストラリア天文台提供）

極秘に行なわれる核実験を捕らえる目的で設置された特殊な監視衛星による米国国防総省の機密情報からも明らかになった。それによると、過去二〇年間に数百個の小天体が地球に衝突し、そのうち少なくとも一つはかなり大きな天体だったが、それらは何も目立った被害をもたらさなかった。ただし、ここで私たちは、小惑星や彗星の衝突と大気中の核実験との違いをしっかりと認識しておく必要がある。

文明を脅かすような衝突は、直径が数百メートルかそれより大きな天体によって引き起こされる。（二〇〇メートルは、ほぼアメリカンフットボール競技場くらいの大きさである。）そのような大きさの天体は、二〇万年に一度くらい地球にやって来る。私たちの文明はたかだか一万年の歴史しか持っていないから、大衝突の記録がなくても不思議はない。そして実際、そのような記録はいまのところない。

シューメーカー・レビー第9彗星は、一九九四年七月、木星につぎつぎと衝突した。この一連の大爆発によって、私たちの時代にもそのような衝突が実際に起こり得ることを、そして、直径数キロメートルの天体が衝突すると、地球の大きさと同じくらいの広い範囲に破片がまき散らされることを私たちは思い知らされた。これは前兆といってもよかった。

シューメーカー・レビー第9彗星が木星に衝突した、まさにその週のうちに、米国下院科学・宇宙委員会は、ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）に、「国防総省とほかの国々の宇宙機関と協力して」、地球に近づく「直径一キロメートル以上の彗星と小惑星」のすべてを確認し、そ

の軌道要素を決定することを要求する法案を可決した。この計画は、二〇〇五年までに完成させる予定になっている。このような小惑星や彗星の探索計画は、これまでにも多くの惑星科学者たちによって唱えられてきたのだが、実現するには、このような彗星の断末魔が必要だったのである。

探索が完成するまでのあいだに、小惑星が衝突する危険性を、それほど心配することはないようだ。しかし、もしひとたび大衝突が起きれば、人類にとって空前の大災害となるだろう。生まれたばかりの赤ん坊が一生のあいだにそのような衝突に遭遇する確率は、二〇〇〇分の一程度である。もし、二〇〇〇回に一回、飛行機が墜落するとしたら、たいていの人は飛行機には乗らないだろう。実際、民間航空会社の飛行機が墜落する確率は二〇〇万回に一回である。それでもこの数字に不安を感じる人はたいへん多く、飛行機に乗る前には保険に入ったほうがよいとされている。生命の危機にさらされたとき、私たちは少しでも有利になるように振る舞う。そうしなければ、生き残れないからだ。

私たちはいっそ、地球に迫りつつある小天体まで出かけて、その軌道をそらせる練習をしたほうがいいかもしれない。それが必要になる事態が起こるかもしれないのだから。メルヴィルのいうのとは異なり、創造の際の破片はいまも残っていて、改造は明らかに必要なのだ。惑星科学の学界と米国とロシアの核兵器研究所は、すでにこの危険に気づいて、それぞれ独立につぎのような問題を追究してきた。どのようにしてすべての地球に近づく大きな天体を

監視するのか、どのようにしてそれらの物理化学的特性を知るのか、どのようにして将来、地球に衝突する軌道に入るかどうかを予測するのか、そして最後に、どのようにして衝突が起こるのを回避するのか。

ロシアの宇宙飛行の父、コンスタンチン・ツィオルコフスキーは、一世紀も前に、観測可能な大きな小惑星とそれらの破片である隕石との中間の大きさの天体が存在し、それらがときどき地球に降ってくると書いている。彼はまた、惑星間空間における小惑星の上での生活についても述べている。彼は軍事利用などは考えていなかった。しかし、一九八〇年代初期に米国の軍事関係者のなかから、ソ連は地球近傍小惑星を先制攻撃用の兵器として使おうとしているという疑惑が出された。その計画は「イワンのハンマー」と呼ばれた。対応策が検討されたが、同時に、米国にとっても、小天体を兵器として使う方法を研究することは悪くないのではないかという提案がなされた。国防総省の弾道ミサイル防衛機関（八〇年代のスター・ウォーズ計画事務局が改組されたもの）は、月を周回し、地球近傍小惑星ジオグラフォスに接近する革新的な探査機クレメンタインを打ち上げた。クレメンタインは、九四年五月に月接近を実現したのち、ジオグラフォスにたどりつく前に消息を絶った。

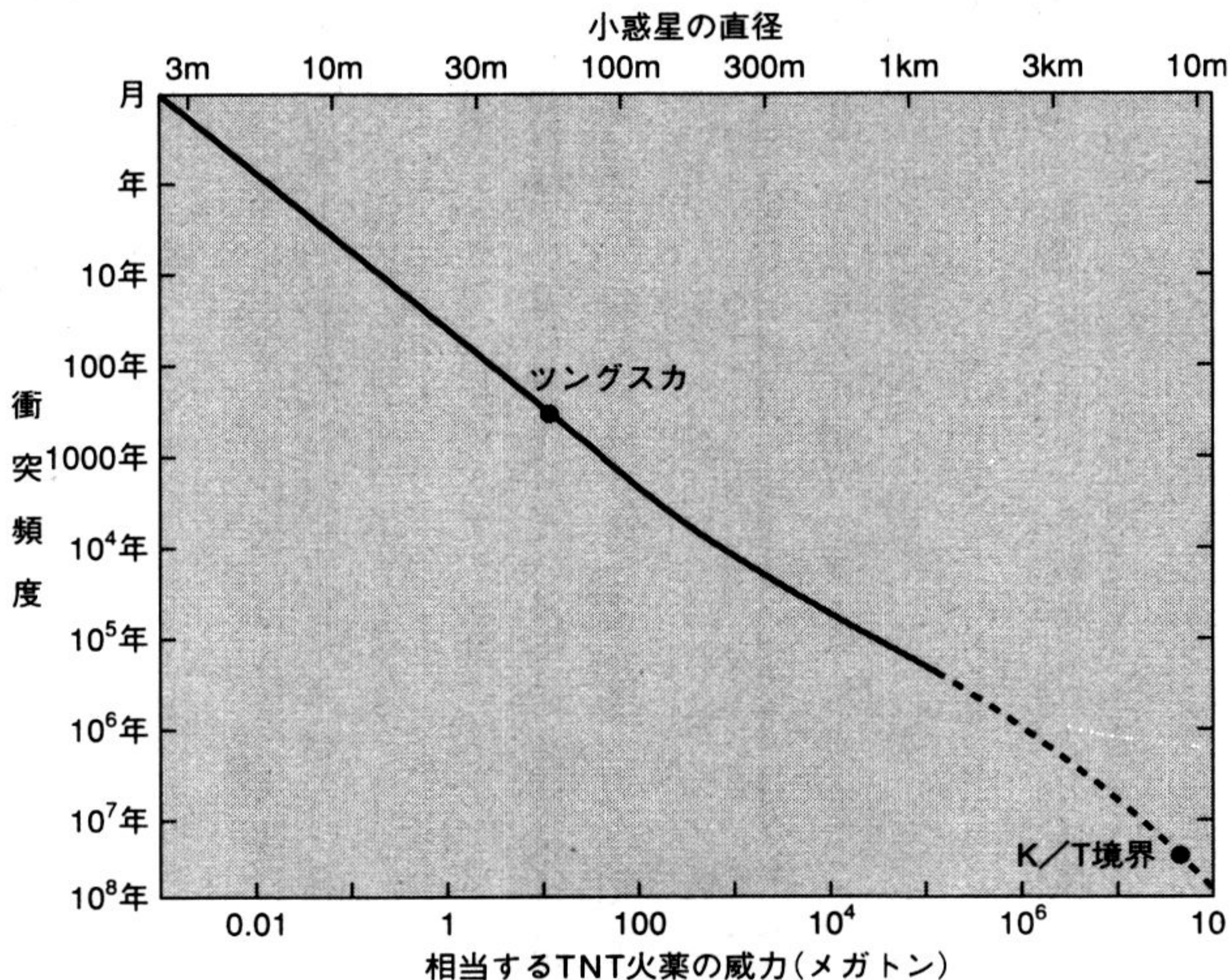
原理的には、大きなロケットエンジンを取り付けるとか、あるいはミサイルのようなものをぶつけるとか、あるいは小惑星に巨大な反射板を取り付けて太陽光や地球から強力なレーザー光を当てる方法などが、軌道を変えるために使えるかもしれない。しかし、現在の技術

では、ただ二つの方法しかない。第一は、一個または複数個の高威力の核兵器で小惑星や彗星を噴き飛ばして粉々にし、地球大気突入時にさらに分解してばらばらになるようにする方法である。もし小天体がしっかりと固まっていないのであれば、核兵器の威力は数百メガトンあれば十分かもしれない。必要な熱核兵器の爆発威力には理論的上限値が与えられないため、兵器研究に携わる人々のなかには、より破壊力の強い核爆弾をつくるという挑戦にわくわくするだけではなく、これは地球を救うという名目で核兵器の必要性を認めさせ、うるさい環境保護論者たちを黙らせる格好の方法と考える者もいるようだ。

もっと真剣に議論されている方法は、これほど大がかりなものではないが、それでも核兵器の現状を維持するには有効である。さまよえる小天体の近く（ふつう、小惑星の軌道の近日点付近）で核兵器を爆発させ、軌道を変えようというのだ（＊1）。地球にぶつかるほんの二、三週間前でも、核兵器の威力は低くても、爆風が少しは小天体を望む方向へと押しやるので、中型の小惑星の軌道を変えることができる。この方法は、長周期の彗星が地球に衝突することが突然判明し、しかも事態が差し迫っている場合に、適用できる手段としても期待されている。つまり、彗星の軌道を小型の小惑星で妨害してしまおうというのである。いうまでもなく、この天上での玉突きは、数カ月から数年かけて軌道のよく分かった小惑星を好きな方向に向かわせるよりも、ずっと困難で不確実だし、したがって近い将来に実現する可能性は高くはない。

一回だけの核爆発が小惑星にどのような効果を与えるかは、分からない。答えは小惑星によってまちまちだろう。しっかりと固まっている小惑星もあれば、自分の重力でようやくまとまっている砂利の山のような小惑星もあるだろう。たとえば、もし爆発で直径一〇キロメートルの小惑星が壊れて、直径一キロメートルの数百個の破片になったとしたら、その破片のうち少なくとも一つが地球にぶつかる可能性は増してしまう。したがって大惨事を軽減することにはあまりならない。一方、もし、爆発が小惑星を直径一〇〇メートルかそれより小さな無数の破片にするならば、それらはみな、地球大気に突入しても大流星のように燃え尽きるだろう。この場合、衝突による被害はほとんどない。さらに、もし、小惑星が粉のように細かく完全に粉砕されたとしたら、今度はしかし、そのために高層大気にちりの層ができて太陽光が遮られ、気候が変わってしまう可能性がある。このどれが実際に起こるのか、まだ分からない。

恐ろしい小惑星や彗星を処理するために、数十個から数百個の核ミサイルを用意し、常時待機させておいてはどうかという提案もある。しかし、現在の技術水準に鑑(かんが)みて、このような防衛策は時期尚早である。そしてこの種の議論は私たちがこれまでに聞きなれたものでもある。単に標的が変更されただけのことだ。これもまた非常に危険な考えである。

NASA/JPL(ジェット推進研究所)のスティーブン・オストロと私は、かつて指摘した。問題は、恐ろしい小天体の向きを地球に衝突しないように変える確実な方法があるとす

衝突天体の大きさと衝撃の強さ、および地球との衝撃頻度を示すグラフ。アリゾナ州ツーソンにある惑星科学研究所のクラーク・R・チャップマンとNASAエイムズ研究センターのデイビッド・モリソンによって、最新の情報がまとめられている。図中、ツングスカとあるのは、1908年にシベリアに落下したもので、地上にクレーターを残さずに消滅したが、広範囲にわたって森林がなぎ倒され、ほぼ地球の半分の地域で衝撃が感じられた。おそらく直径50メートルの隕石が落下し、10メガトンのTNT火薬に相当するエネルギーが放出されたと考えられている。現在のもっとも強力な核兵器には及ばないが、かなりの威力である。曲線にそって右下へいくほど天体の直径は大きくなり、衝突頻度は低くなるが、衝撃は甚大なものになる。
K/T境界は、白亜紀・第三紀境界の大衝突。

れば、それは確実に無害な小天体を地球に衝突するように転向することが可能な方法でもあるという点にある。およそ三〇万個と推定される直径一〇〇メートル以上の地球近傍小惑星の軌道も含めた一覧表があるとしよう。そのどれもが、地球に衝突したら深刻な結果をもたらす大きさである。それはいいかえれば、核弾頭を用いてすぐにでも地球に衝突するように軌道変更が可能な、膨大な数の無害な小惑星のリストを手にしていることにもなるのである。

全地球的な大災害をもたらす可能性が高い、直径一キロメートル以上の約二〇〇〇個の地球近傍小惑星について考えることにしよう。これらのうち、今日、記録されているのはわずか一〇〇個程度しかないので、そのうちの一つが地球に近づいたときに見つけて軌道を変えるまでには、まだ一世紀くらいかかるかもしれない。そのような天体の一つを私たちは見つけたと考えている。まだ名無しの(＊2)、現在のところ１９９１ＯＡとだけ記載されている小惑星である。直径約一キロメートルのこの小天体は、二〇七〇年に地球軌道から四五〇万キロメートル、月までの距離のわずか十数倍のところまでやって来る。１９９１ＯＡを転向させて地球にぶつかるようにするには、わずか六〇メガトンほどをうまく爆発させるだけでいい。それは現在私たちが保有している核弾頭のほんの一部でしかない。

いまから数十年後、このような地球近傍小惑星のすべての目録がつくられ、その軌道が記載されたとしよう。ＪＰＬのアラン・ハリスやロスアラモス国立研究所のグレッグ・キャナバン、そしてオストロと私が示したように、一年もかからないうちに、そのなかから適当な

対象を選び、軌道を変えて地球に衝突させ、大災害を起こすことができるかもしれない。
これに必要な技術、たとえば、大型の光学望遠鏡、高感度検出器、二、三トンの搭載物を打ち上げて宇宙空間で正確にランデブーできるロケット推進システム、そして熱核兵器などのすべては、今日すでに存在している。それらのうち、核兵器以外の改良は十分に期待できる。私たちが核兵器の規制をしなかったら、数十年後には、多くの国がこのような能力を持つことになるだろう。そうなったときの世界は、どのようなものだろう。
私たちは新しい技術の危険性を過小評価する傾向がある。チェルノブイリ原発事故の一年前、原子炉の安全性について質問されたソ連の原子力担当次官は、チェルノブイリをとくに安全な場所として挙げた。事故が発生するまでの平均時間について、彼は一〇万年と自信を持って答えた。それから一年足らずで、あのような大事故が起こってしまった。似たような例はスペースシャトル・チャレンジャー号の事故でもある。その前年、NASAの仕事をしている業者は、シャトルで悲惨な事故が起こるまでには一万年も待たなければならないだろうといっていた。そして、一年後にあの胸の張り裂けるような大事故が起こったのだ。
例はほかにもある。フロン（クロロフルオロカーボン＝CFC）は、漏れ出したときに人体に害を及ぼして死者まで出したアンモニアなどにとってかわる、まったく安全な冷媒として開発された。化学的に不活性で、通常の濃度では毒性がなく、無味無臭で、アレルギーを起こすこともなく、不燃性のフロンは、実用上の問題点を見事に解決した輝かしい技術の勝利

であった。さらに、冷却や空調に加えて、ほかの多くの産業分野でも使えることが明らかになった。しかし、すでに述べたように、フロンを開発した化学者たちは一つの本質的な事実を見落としていたのだ。きわめて不活性であるためにフロンの分子はそのまま成層圏まで運ばれ、そこで太陽光にさらされて分解し、塩素原子を放出する。その塩素が、生命を守ってくれているオゾン層を破壊してしまうのである。数人の科学者によって、ようやくその危険が認識され、まもなく防止策が講じられるようになった。私たち人類はいまではフロンの製造をほぼ中止している。しかし、あと一世紀くらいは本当に害を避けることができたかどうかは分からないだろう。フロンによる被害が完全になくなるまで、どのくらい時間がかかるのか、分かっていないのだ。古代のカマリナ人のように、私たちは過ちを犯している(＊3)。私たちはしばしば、神の警告を無視するだけでなく、神託を求めることさえしなくなっている。

宇宙科学者や国家の長期的計画の立案者たちの眼に、小惑星を地球軌道に移動するという案は、魅力的なものと映るようだ。こうした天体から鉱物や貴金属を採掘したり、宇宙基地の建設材料をわざわざ地球重力に抗して持ち上げなくても提供できるようになるかもしれないからだ。どのようにして目的を達成するのか、また、どんな利益が得られるかなどについての解説も出回っている。最近では、小惑星に地球の近くを通らせ、地球大気でブレーキをかけて地球を周回する軌道に入れようという、失敗がほとんど許されない方法が提案されて

いる。しかし私は、近い将来、このような試みは、とくに直径数十メートルより大きい金属の多い小天体に対しては、非常に危険で無謀であることが明らかになると思っている。小惑星の回航や推進や計画そのものに誤りがあった場合、徹底的かつ破滅的な結末を招きかねないからである。

いま述べたのは、不注意から生じたミスによって招かれる危険の一例であるが、世の中には別の種類の危険もある。私たちは時折、これこれの発見が悪用されることなどあり得ない、といった類の楽観的な言葉を耳にする。確かに、正気の人間は無謀なことをやらない。しかし、ここでは狂人に限った話をしよう。私はそのような楽観的な言葉（そして論争において、楽観論は必ず強調される）を聞くといつも、狂人が常に実際に存在することを思い出す。時には、狂人が近代産業国家における政治権力を手にしてしまうこともある。ヒトラーやスターリンは敵側陣営の人々のみならず、自国の人々の生命までも深刻な危機に陥れた独裁者である。一九四五年の冬から春にかけて、ヒトラーはドイツの破壊を、人々の生存に最低限必要なものでさえも破壊することを命じた。生き残ったドイツ人はすべて裏切り者で、死んでいった人々に比べて劣等であるから、生き残る価値などないという理由であった。もしヒトラーが核兵器を持っていたら、連合国側の核兵器による反撃の脅威があったとしても、彼の野望を思いとどまらせることはできなかっただろう。逆に勢いづかせることになったに違いない。

私たち人類は文明を脅威にさらすような技術に身を委ねてもよいのだろうか。もし、来世紀のうちに人類の大半が天体衝突で死ぬ確率が一〇〇〇分の一くらいだとしたら、それよりも、来世紀のうちに小惑星転向技術が悪の手にわたってしまう確率のほうが高いのではないだろうか。ヒトラーやスターリンのように大量殺戮に無性に熱心な人間嫌いの異常性格者、誇大妄想に捕らわれたあげく「偉大」や「栄光」を渇望する者、復讐という目的に向かいがちな民族主義的暴力の虜（とりこ）、きわめて重度の薬物中毒者、「最後の審判の日」を早めようとする狂信者、あるいは制御装置や安全装置を操作する能力に欠ける不適当な技術者たち。そうした人たちは常に存在するのだ。危険のほうが利益よりずっと大きいように見える。病気より治療のほうが悪いこともある。地球がいま、かきわけて通っている地球近傍小惑星の群れは、現代のカマリナの沼地なのかもしれない。

いままで述べてきたことを、とうてい起こりそうもない、過剰な心配から生まれた幻想として片づけてしまうのは簡単だ。確かに正気の人々が勝つかもしれない。核弾頭の準備と発射、誘導飛行、核弾頭の爆発、爆発による小惑星の軌道のずれのチェック、地球に衝突する軌道への小惑星の誘導などもろもろのことに、多くの人たちが動員されるはずだ。ヒトラーがナチ軍退却の際に、パリの街を焼き、ドイツそのものを破壊するように命じたにもかかわらず、命令が実行されなかったことは、注目に値するのではないだろうか。きっと（その国の）小惑星転向計画の鍵を握る人物のうちだれかが、危険に気づくだろう。軌道を修正され

た小惑星の衝突で卑劣な敵国だけが破壊されるという筋書きは、とても当てにできないことに。なぜなら、衝突の影響はいやでも地球全体に及んでしまうのだから、ある特定の国に巨大なクレーターをつくってそれでおしまい、などということは、あり得ないではないか。

しかし、侵略を受けることなく繁栄する、自信に満ちた全体主義国家があったとしよう。そこには、命令は疑うことなく従うものだとする伝統があるとしよう。そして、作戦にかかわる人たちは、こんな作り話を聞かせられているとしよう。その小惑星はまもなく地球に衝突しようとしている。その向きを変えることが、彼らの任務である。しかし、人々を不必要に心配させないために、作戦は極秘のうちに遂行されなければならない、と。厳格な命令伝達の階層構造、知識の細分化、情報の非公開、そして作り話。このような軍事的環境の下で、大災害を招くような命令が下された場合、それでもそれが実行されることはないと保証できるだろうか。これからの数十年、数百年、いや数千年間に、こんなことが本当に起こらないといい切れるだろうか。そう信じられるだろうか。

いうまでもないが、技術は正しく使われることもあれば、誤って使われることもある。それはそのとおりなのだが、しかし「誤り」があまりにも大きな災害を引き起こす可能性がある場合、私たちは技術開発に制限を設けなければならないのかもしれない。もっとも、ある意味で私たちは、いつもそうした選択をしている。なぜなら、私たちはすべての技術の可能性を追求することはできないからだ。開発に多くの人や金が割かれる技術もあれば、そうで

ないものもある。それとも何らかの国際機構が、狂人や専制支配や狂信主義に対して、十分な規制を行なわなければならないのかもしれない。

小惑星や彗星を追跡すること自体は、賢明な行為だし、正しい科学だし、それに費用もそれほどかからない。しかし、自分たちの弱さを知っていながら、なぜ私たちはいま、わざわざ小惑星を転向させるための技術を開発しようとするのだろう。この技術から派生する危険を確実に避けるためには、どうしたらよいのだろう。多くの国家がこの技術を保有し、各国が互いに悪用をチェックし、均衡を保つようにするべきなのだろうか。これは以前の核均衡の恐怖とはまるで違う。全地球的な破壊を企てていて、しかもライバルに先を越されまいと焦っている狂人を止めることは、非常に難しい。注意深く計画され、秘密裏に実行に移されようとしている小惑星転向計画を、諸国家の国際機構は事前に発見できるのだろうか。危険に見合うだけの信頼性の高い国際的な防衛手段も考えられるのだろうか。

たとえ単に監視するだけだとしても、危険はある。直径一〇〇メートル以上の天体三万個の軌道を決め、(もちろんそうあるべきだが)情報が公開されたとしよう。公開された地図は、きっと地球周辺が小惑星や彗星の軌道で真っ黒になっているだろう。それはあたかも髪の毛一本で頭上に吊るされた三万振りの剣だ。その数は、大気が理想的な透明度を持っている場合に肉眼で見ることができる恒星の数の一〇倍である。天体衝突の脅威に無知な現在よりも、そのような知識が蓄積される将来のほうが、社会不安はずっと大きいだろう。たとえ

小惑星の軌道変更。数カ月後に地球に衝突すると予測された危険な小惑星に向けて、適当な時機に地球からミサイルを打ち上げる。小惑星の近日点付近で核爆発を起こさせれば、わずかなずれでも軌道が変わり、地球との衝突を避けることができる。(JPL/NASA)

転向技術の悪用の危険性を助長しようとも、まだ顕在化していない脅威を軽減する手段を講じるべきだという強い社会的圧力が生じるかもしれない。このように、小惑星の発見と監視は、将来の政策にとって単なる中立的な道具ではなく、むしろ落とし穴になりかねない。私は、唯一の解決策は、正確な軌道の推定と、現実的な危険評価と、効果的な学校教育を組み合わせることだと考えている。それによって、少なくとも民主国家では、市民は情報に基づいて自分自身で判断を下すだろう。これはＮＡＳＡの仕事である。

地球近傍小惑星とその軌道を変更する方法について、さまざまな人が真剣に考えている。国防総省と兵器研究所の職員たちは、小惑星の向きを変える計画に伴う危険について、理解し始めているようだ。民間および軍の科学者たちは、その問題を議論するための会議を開いている。近い将来、小惑星が地球に衝突するかもしれないこと、そしてそうなれば全地球規模の災害が発生することは、はじめて耳にする人にとって「チキン・リトル」のおとぎ話のように聞こえる。がちょうのルーシーがやって来て、大騒ぎをしながら、空が落ちてくるというニュースを伝える、あの話だ。しかし、破滅的な予測を、いままで経験したことがないという理由で受け入れないことは、長い目で見れば、非常にばかげている。ただしおとぎ話の場合、慎重といっていいえなくもないけれども。

当分のあいだ、私たちはジレンマに直面しなければならない。もし私たちが小惑星転向の

技術を開発し、実際に使ったら、それは私たちを滅ぼすかもしれない。しかし、もしそうしなければ、小惑星か彗星によって私たちは滅ぼされるかもしれない。そのジレンマの解決は、私が思うに、二つの危険のタイムスケールが大きく異なること、つまり前者は短く、後者は長いことにかかっている。

私は、将来、私たちと地球近傍小惑星との関係がつぎのようになればいいと考えている。つまり、地上からの観測によってすべての大型の小惑星を発見し、その軌道を記録し監視し、自転速度や化学組成を求める。科学者たちは誇張したり過小評価したりすることなく、危険性を説明することに努める。さらに私たちは二、三の小惑星を選んで無人探査機を送り、周回し、着陸したあと、表面の試料を地球上の実験室に持ち帰る。そして最後には人間を送る。重力が小さいために、彼らは立ち幅跳びで一〇キロメートル以上も跳躍できるし、ゆるやかに投げた野球のボールが小惑星を回る軌道に乗ってしまうだろう。衝突の危険性が十分に分かっていても、技術が悪用される可能性がきわめて小さくなるまで、軌道修正は実行しない。それまでには、かなりの時間がかかるかもしれないが。

天体を動かす技術を、あまりすばやく開発してしまったなら、私たちは自滅するかもしれない。一方、あまり遅過ぎても、私たちは間違いなく滅びてしまうだろう。国と国とのあいだを調整する、十分に信頼し得る国際機構があってはじめて、私たちはこの深刻な問題に取り組むことができるようになるだろう。同時に、一国が単独で問題に対応することは、許さ

れない。仮想敵国（あるいは潜在的な敵国）が世界を破壊し得る手段を保有することを快く思う者がどこにいるだろうか。自国が同じ手段を保有するしないの如何にかかわらず。惑星間衝突という危機は、それが広く理解されたとき、私たち人類を一つにまとめてくれるだろう。共通の危険に直面すると、人は時として不可能と思われてきたことまでやってのけるものだ。私たちは互いの違いを度外視する。少なくとも危険が過ぎ去るまでは。

しかし、この危険は決して去ることはない。小惑星は惑星の重力の影響を受けて、徐々に軌道が変化していく。また、予告もなしに新しい彗星が冥王星より遠くの暗黒からふらふらと私たちの近くにやって来ることもある。危険な目に遭わないように、常にそれらの天体に対処していなければならないのだ。小型の地球近傍天体は、一つは自然の、もう一つは人類がつくりだす二つの異なる危機をもたらす。そして、私たちが効率のよい国際組織をつくり、一つにまとまるための新しく強力な動機づけとなる。これほど申し分のない方法があるだろうか。

私たちは二歩前進しては一歩後退し、じれったいほど遅々としているが、それでも統一へ向かって進んでいる。それは輸送手段や通信技術の発達、世界経済における相互依存、そして全地球的な環境危機などから、強い影響をこうむっている。天体の衝突という危機は単にそのペースを速めるだけだ。

小惑星が地球に壊滅的な災害をもたらさないように、私たちは注意深く、念には念を入れ

て、まず直径一〇〇メートル以下の小型の非金属天体の軌道を変える方法を習得することから始めるだろう。小規模の爆発から始めて、徐々に上達してゆくのだ。組成や強度の異なるさまざまな小惑星や彗星の軌道を変えることで経験を積み、どれがうまく軌道修正でき、どれができないかを判断する訓練をする。二二世紀までに私たちは、核爆発ではなく、核融合エンジンもしくはそれと同等の技術を使って、太陽系の小天体を移動することができるようになるかもしれない（次章参照）。私たちは、貴重で有用な金属からできた小惑星を地球軌道に誘導する。そうして、しだいに私たちは、遠からぬ将来に、地球に衝突するかもしれない大型の小惑星や彗星の軌道を変更する防御技術を開発し、一方で細心の注意を払って、その技術の悪用に対抗する安全対策も整備するだろう。

転向技術が悪用される危険は、緊急突発の衝突の危険よりもずっと大きいように思える。したがって私たちは、数十年あるいは数百年という長い時間をかけて、慎重に予防策を講じ、政治機構を立て直さなければならない。私たちがうまくことを処理し、さらに運が悪くなければ、地上で得た成果を使って、天上でのことにもじっくりと対処できるだろう。地上と天上とは、いつも深く関連しているのである。

小惑星衝突の危機は、私たちに行動を起こすことを強いる。この問題の最終的解決のために、私たちは内部太陽系のすみずみにまで人類の存在をゆるぎなく確立しなければならない。やがて私たちは単なる無人探査では満足しなくなるだろう、と私は思う。それを安全に行な

うには、政治組織・国際組織も変えなければならない。私たちの将来の多くの部分はどうなるか定かでないが、この結論だけは確固としたもので、人類の気まぐれな組織とは無関係だと思う。

たとえ私たちが本当のさすらい人の子孫でなく、探検の情熱にかられていないとしても、全員が生き残るために、私たちの一部は地球を去らねばならない時がやって来るだろう。ひとたび地球の外に出たならば、しっかりした基地が必要となる。それほど遠くない将来、私たちの一部が人工居住施設やほかの天体に住むようになるだろう。これは、宇宙で人類が恒久的に永らえるための二つの根拠のうちの一つであり、どちらも火星探検の議論のなかで見落とされていたものだ。

ほかの惑星系もそれぞれの衝突の危機に直面している。なぜなら、小惑星や彗星は、惑星をつくるための原料となった小型の原始的な天体の生き残りだからだ。惑星が形成されたあとも、惑星間空間にはたくさんの微惑星が取り残されている。地球では、文明を脅かすほどの天体の衝突が起こる平均的な時間間隔は二〇万年くらいで、それは人類の文明の歴史の二〇倍である。もし、地球外文明が存在するなら、その惑星とその上に繁栄している生物圏の物理化学的特徴や、文明の生物学的・社会的性質、そしてもちろん衝突の確率などによって、この時間間隔は全然違うものになるだろう。たとえば、より高圧の大気を持つ惑星は、より

大型の衝突天体に対しても安全だろう。もっとも、温室効果による危険などによって生命が住めないほどには、大気の圧力は高くはなり得ない。もし、重力が地球よりずっと小さいなら、衝突のエネルギーはもっと小さく、被害は小さいだろう。ただし、大気そのものが宇宙空間に失われてしまうほど、重力が小さいことはあり得ないが。

ほかの惑星系での衝突頻度は分からない。私たちの太陽系には、地球の軌道を横切る衝突天体を供給するような二つの小天体集団がある。供給源の存在も、衝突頻度を維持する仕組みも、どちらも、惑星系の天体がどのように分布しているかで決まっている。たとえば、太陽系を取り巻くオールトの雲は、天王星および海王星の周辺から重力で放り出された氷の微惑星が住みついていると考えられる。天王星や海王星のような役割をする惑星がなかったら、その惑星系のオールトの雲はもっと数が少なく薄っぺらなものかもしれない。散開星団や球状星団の星々、連星や多重連星、銀河中心に近い星、より頻繁に星間空間の巨大分子雲に遭遇する星々などでは、その周囲を回っている地球型惑星が衝突される確率はずっと高いものだろう。ワシントンのカーネギー研究所のジョージ・ウェザリルの計算によれば、もし木星が形成されていなかったら、地球への彗星の衝突は、現在よりも数百倍から数千倍も高かったろうという。木星のような大惑星が存在しない惑星系では、彗星に対する重力による遮蔽効果は低下し、文明を脅かすような衝突はもっと頻繁に起こっているだろう。

ある程度ならば、惑星間天体の衝突が増えると、生物進化の速度も増す。白亜紀・第三紀

境界の大衝突によって恐竜たちが一掃されたあと、哺乳類が栄えて多様化したように。しかし、逆に進化を妨げる作用も、もちろんある。あまりに衝突が頻繁に起こっていたら、文明が存続できるはずはない。

このように見てくると、一つ明らかなことは、銀河系内の惑星上にごく普通に文明は栄えるとしても、技術を持たずに長く生き延びられる文明はほとんど存在しないということである。小惑星や彗星による衝突は、銀河系内の生命のいるすべての惑星でも起こるはずだから、もし知的生命が存在するならば、どの知的生命も政治的に彼らの惑星全体を統一し、やがてそこを離れ、近くの小さな天体に移住するだろう。彼らの究極の選択は、私たちと同様に、宇宙に飛び立つか、絶滅を待つか、どちらかなのだ。

（＊1）米国と旧ソ連両国が提案して国連で採択された宇宙条約では、「大気圏外」での大量破壊兵器の使用を禁止している。小惑星の軌道を変えるためには、まさにそのような兵器、それもこれまでにつくられたもっとも強力な大量破壊兵器が必要となるだろう。したがって小惑星転向の技術開発に関心を持つ人たちは、この条約の改訂を求めるだろう。しかし、たとえこれが改訂されようがされまいが、もし地球に衝突する大型の小惑星が発見されたなら、この期に及んでそのような条約の細目にこだわる人物はいないだろう。けれども、宇宙におけるそのような兵器の規制緩和は、私たちに、宇宙における攻撃目的の兵器の位置づけについての警戒をおろそかにさせる危険性も含んでいる。

（＊2）この天体を何と呼ぶべきだろう。ギリシャの運命の女神や復讐の女神、あるいは天罰の女神ネメシスにちなんで名づけるのは適当ではないようだ。なぜなら、それが地球に当たるか当たらないかはまったく私たちの手に委ねられているのだから。何もしなければ、当たらないで通過する。もし、うまく正確に転向できたら、地球にぶつかる。おそらく、私たちはそれを（ビリヤードの）「エイト・ボール」とでも呼ぶべきかもしれない。

（＊3）もちろん近年、私たちがつくりあげた恐ろしいほど強力な技術によってもたらされる問題は、広範囲にわたっている。しかしたいていの場合、それらはカマリナの災害とは異なる。開発しても、しなくても、どちらも非難されるのである。その多くは知恵とタイミングのジレンマである。たとえば、たくさんの候補のなかから、間違った冷媒を選んでしまうというような過ちである。

19

惑星を改造する

人は道具や天の材料を手に入れることができるばかりか、
天さえも作ることができるということを、誰が否定できようか。

マルシリオ・フィチーノ『人間の魂』（一四七四年ころ）から

第二次世界大戦のさなか、ジャック・ウィリアムソンという名の若い米国人作家が、太陽系への植民を想像した。二二世紀に金星は中国(*1)と日本の、火星はドイツの、木星の衛星たちはロシアの植民地となる、と彼は考えた。ウィリアムソンはもちろん英語で書いたから、彼の作中人物も英語を話す。そしてこの人たちは小惑星と、いうまでもなく地球に閉じ込められている。

一九四二年七月に「アスタウンディング・サイエンス・フィクション」誌に発表された『衝突軌道』という題名の物語は、ウィル・スチュアートというペンネームで書かれた。人が住んでいない小惑星が、植民地化された小惑星に衝突しそうになる。切迫した状況下で、その小さな天体の軌道を変える手段が探られる、というのがあらすじだった。たとえ地球の

住人に危険はないにしろ、これは新聞のコマ割りマンガを除けば、小惑星の衝突が人類への脅威として世に出た最初だった。それまで危険と見られていたのは、彗星の地球への衝突だった。

一九四〇年代はじめには、火星と金星の環境はほとんど知られていなかったので、人類は精巧な生命維持装置なしでもそこで暮らせると考えられていた。しかし小惑星は別だった。その当時でも小惑星は小さくて、乾燥していて、大気のない天体であることが分かっていた。大勢の人が住むとしたら、小惑星はどうにかして環境を改良する必要があると思われた。『衝突軌道』で、ウィリアムソンは荒れ果てた植民地を住みやすい環境に変えることができる「宇宙技師」の一団を描いた。ウィリアムソンは地球のような環境に変える過程を表わすのに「テラフォーミング」(地球化)という造語を使った。小惑星の小さい重力では、つくられたものであれ運びこまれたものであれ、大気はたちまち宇宙に逃げてしまうことを彼は知っていた。そこで地球化の鍵となる技術は大気密度を維持する人工的な重力の「準重力(パラ)」だった。

今日では、準重力は物理学的にほぼ不可能ということが分かっている。しかし、私たちはコンスタンチン・ツィオルコフスキーが考えたように、小惑星上に透明で半球状の居住空間をつくったり、一九二〇年代に英国の科学者J・D・バナールが描いたように、小惑星の内部に共同社会を建設することを想像することができる。小惑星は小さくて重力も弱いので、

大規模な地下建設でも比較的容易だろう。中心を通るトンネルが貫通したら、一方の口から飛び込んでみるといい。反対側の口まで四五分しかかからず、トンネルのなかを出たり入ったりトランポリンのようにいつまでも動きつづけることができる。炭素質の小惑星の内部には、石材や金属、塑性構造物、大量の水などが見つけられる。すべて地下の閉じた生態系や地下菜園の建設に必要なものだ。それを実現するには今日よりさらに進んだ技術が要求されるが、準重力のように不可能と思われるものはない。基礎はすべて、今日の技術のなかにある。場合によっては、二二世紀にはかなりの数の人間が小惑星に住んでいるかもしれない。

もちろん生きるためだけでなく、バナールも書いているように、小惑星を動かすためにもエネルギー源が必要だ。一世紀か二世紀後には、小惑星の軌道を変える方法は、爆発にかわるもっと穏やかな推進方法になっているだろうが、そのために必要な進歩はさほど大きなものではなさそうだ。化学的につくられた水から酸素大気を生み出せれば、今日の地球上で化石燃料を燃やしているように、有機物を燃やしてエネルギーを生み出せる。小惑星帯には地球に比べて一〇パーセントの太陽光しか届かないが、太陽エネルギーの利用も考えられる。人が住む小惑星の表面を太陽電池ですっぽりと覆い、太陽光を電気に変えることも考えられるだろう。太陽電池は地球を回る軌道にある人工衛星で日常的に使われており、地表での利用も増えている。私たちの子孫の故郷である小惑星に熱と光が十分に供給されれば、小惑星の軌道を変えなくてもよくなるだろう。

そのために、ウィリアムソンは反物質の利用を提案した。反物質は普通の物質と見かけはまったく同じだが、一つだけ重要な違いがある。水素を考えてみよう。普通の水素原子は、内側にある正の電荷を持つ陽子と、外側にある負の電荷を持つ電子からできている。反水素の原子は内側に負の電荷を持つ反陽子があり、ポジトロン（陽電子）と呼ばれる正の電荷を持つ電子が外側にある。電荷が違おうとも、陽子は同じ質量で、電子も同じ質量である。反対の電荷を持つ粒子は互いに引き合う。正負の電荷が正確にバランスをとっているので、水素原子も反水素原子も両方とも安定だ。

反物質はＳＦ作家や理論物理学者の熱い思いから生まれた架空の粒子ではない。反物質は実在する。物理学者はそれを加速器のなかでつくることができる。高エネルギー宇宙線のなかにも見いだすことができる。それなのに、なぜ反粒子について聞くことがあまりないのだろうか。反物質の塊を取り出した人がいないのは、なぜか。それは、物質と反物質が接触すると激しく互いを消滅させようとして、強いガンマ線を出して消えてしまうからだ。見かけだけで物質からできているか反物質からできているかは、分からない。たとえば分光器で調べても水素と反水素はまったく同じである。

なぜ私たちは物質だけを見ていて反物質を見ていないのか。この問いに対してアルバート・アインシュタインは「物質が勝った」と答えた。つまり宇宙の少なくとも私たちの領域では、はるか昔、物質と反物質が互いに激しく反応して消滅して、私たちが物質と呼ぶもの

の一部が残ったのである（＊2）。ガンマ線天文学やほかの手段によって、今日分かっている限りでは、宇宙はほぼすべて物質でできている。この理由は宇宙論の深遠なる問題なので、ここではふれない。しかし宇宙の初期に、わずか一〇億分の一でも粒子の数の違いがあったとすると、それだけで、今日見る宇宙の姿を説明するのに十分であるという。

ウィリアムソンは、二二世紀の人間が、物質と反物質の相互消滅という反応を制御することによって、小惑星を動かすと想像した。その結果生じるガンマ線を集めれば、ロケット燃料に使えるというのである。反物質は火星と木星のあいだの小惑星帯で手に入るだろう。これがまさに小惑星帯が存在する理由だと彼は考えた。遠い過去に、宇宙のかなたから反物質でできた反小天体が太陽系に侵入してきて、そのときには存在していた太陽系五番目の地球型惑星に衝突し、消滅させた、と彼は考えた。この激しい衝突で生じた破片が小惑星であり、そのうちの一部はいまだに反物質でできているというのである。その反小惑星を引っ張ってくれば、意のままに天体を動かせるというのだが、ウィリアムソンもこれはうますぎる話であることを認めていた。

その当時、ウィリアムソンの考えは先進的だと見られ、ばかばかしいとは思われなかった。しかし五〇年後の眼で見れば、『衝突軌道』の一部は非現実的である。今日では、太陽系に大量の反物質はないと信じるに足る十分な根拠があり、小惑星帯は、地球型惑星の断片などではなく、木星の重力潮汐のために、地球型天体の形成を妨げられた膨大な数の小天体だと

考えられている。

いまは加速器のなかでほんの少量の反物質をつくりだせるだけだが、おそらく二二世紀には、もっと大量につくりだすことが可能になっているだろう。なぜならそれは非常に効率がよいからだ。相対論が示す物体のエネルギー、$E=mc^2$ によって、一〇〇パーセントの効率ですべての物質をエネルギーに変えることができる。おそらくそのときにはウィリアムソンが主張した反物質エンジンが実用的な技術になっているだろう。それに失敗したら、小惑星に光や熱を与え、動かせるようにする現実的なエネルギー源として何が期待できるだろうか。

太陽は陽子を融合させてヘリウムの原子核に変えることで輝いている。物質と反物質の消滅に比べたら一パーセント以下の効率ではあるが、この過程でエネルギーがつくられる。しかし陽子－陽子の反応ですら、近い将来に私たちが実現するのはきわめて難しいと思う。そのために必要とされる温度が高すぎるのだ。私たちは陽子の融合のかわりに重水素を利用する。私たちはすでに熱核爆弾でその技術を使っている。重水素は核力で陽子に中性子が結びついたものであり、三重水素は核力で陽子に二個の中性子が結びついたものだ。いまから一世紀ほどのちには、重水素と三重水素や重水素とヘリウムの融合を制御する実用的なエネルギー計画を立てることができるだろう。重水素と三重水素は地球やほかの天体の水にごくわずか入っている。核融合に必要なヘリウムの種類は、二個の陽子と一個の中性子からなるヘリウム3で、これは何十億年ものあいだ、太陽風によって小惑星の表面に吹きつけられてい

る。これらの反応は、太陽のなかで起こっている陽子－陽子反応と比べてもはるかに効率が悪いが、ほんの数メートルの氷の層で、小都市を一年間まかなうだけのエネルギーを供給することができる。

核融合炉は、実用化があまりにも遅くて、地球規模の温暖化の解決あるいは緩和にすら、重要な役割を果たせそうにない。しかし二二世紀までには、広く実用化されるだろう。核融合ロケットエンジンを使えば、内部太陽系にある小惑星や彗星を動かし、たとえば小惑星帯の小惑星を地球を回る軌道に導入するというようなことが可能になるだろう。直径一キロメートルの彗星のなかで水素を燃やすことによって、直径一〇キロメートルの天体を土星から火星まで輸送することが可能だろう。もちろん、政治的に安定した安全な時期を選ばなければならないのは、いうまでもない。

天体を配置替えすることに関する倫理的な問題や、大災害をもたらすことなくそれが実行できるかどうかという不安は、しばらく差し置くことにしよう。小天体に穴を掘って人間の居住用につくりかえ、太陽系のある場所から別な場所へ動かすことは、一世紀か二世紀後には実現しそうだ。おそらくそのときまでには、私たちは適切な国際的な安全組織もつくっているだろう。しかし、小惑星や彗星ではなくて惑星の環境を変えることはどうだろうか。私たちは火星に住めるだろうか。

火星での生活が、少なくとも原理的には可能だということは、簡単に分かる。豊富な太陽光がある。岩石内部や地下、極冠には水が大量にある。大気はほとんど二酸化炭素である。近くの衛星フォボスには大量の有機物があるから、掘り出して火星に運ぶことができる。実際に、フォボスの表面には、私たちより前にだれかがそこに行ったかのように見える溝が走っているが、惑星地質学者たちは、潮汐力や衝突クレーターによってそのような溝ができたと見ているようだ。自給自足の居住空間（おそらくドーム型の構造物）のなかで、私たちは穀物を育て、水から酸素をつくり、ごみをリサイクルすることができるだろう。

最初は地球から供給される物資に頼らざるを得ないだろうが、しだいに自分たちでつくれるものが増えてくるだろう。徐々に自給自足的になっていくのだ。ドームは普通のガラスでできているとしても、可視光を入れ、太陽の紫外線を遮ってくれる。宇宙服のようにかさばって扱いにくいものではないが、酸素マスクと防護服は身につけてから、ドームを出て、探検に出かけたり、別の村や農場用のドーム建設に行くことができる。

米国人の開拓者精神を呼び覚ますように見えるこの計画と文字どおりの開拓時代とのあいだには、少なくとも一つ、大きな違いがある。初期には多額の助成金が要るということだ。必要とされる技術はあまりに高価で、一世紀前の私の祖父母のように貧しい家族には、火星への運賃を支払うことはできない。初期の火星開拓者は、各国政府によって送り出された、高度に専門的な技術を持つ人々になるだろう。しかし一世代か二世代たち、子どもや孫が火

火星に建設される初期の居住施設。チェスリー・ボーンステルによる想像図。著者所有。

星で生まれ、とりわけ自給できるようになれば、変わり始めるだろう。火星生まれの若者たちが、新しい環境で生存するのに不可欠な技術の専門訓練を受けることになるだろう。植民者はもはや英雄ではなくなり、特別な存在でもなくなってくる。あたりまえの人間が備えているさまざまな長所や弱点が、ここでも発現するだろう。地球から火星に行くのは簡単ではないこともあって、次第に火星独自の文化が生まれてくるだろう。彼らが住んでいる環境に結びついた独特の野心や恐怖、独特の技術、独特の社会問題、独特の解決方法などといったように。また、人類の歴史を通じて見られたのと同様の、母天体である地球からの文化的・政治的な疎外感も生じるだろう。

大きな宇宙船が、地球から必要な技術や新しい移住家族や、火星には乏しい資源を運んで到着するだろう。現在私たちが持っている火星についての限られた知識をもとに、宇宙船が空のまま帰るのか、それとも火星でだけ発見される物質や地球ではとても価値があると思われる物を積んで帰るのか、予測することは難しい。最初は火星表面の試料の科学的分析の多くは地球でなされるだろう。しかしそのうち、火星とその衛星フォボスやデイモスの科学的研究は火星でなされるようになるだろう。

やがては、人類のほかの輸送手段で現実に起きたように、惑星間旅行も人々が普通に出掛けられるものになるだろう。自分の研究計画を追求する科学者、地球にうんざりした移住者、冒険好きの旅行者もいるだろう。そしてもちろん、探検者たちも。

火星の環境をもっと地球に似たものにすることができるようになれば、防護服や酸素マスク、ドームの農場や街は不要になり、火星の魅力は増し、より身近なものになるだろう。もちろん同じことは、惑星の環境を遮断するような精巧な装置を使わずに、人が住めるように改造されたどの天体についてもいえる。ドームや宇宙服でやっと死を免れているような状態でなくなれば、宇宙植民地はもっともっと快適なものになるだろう。しかしおそらく、私は心配しすぎているのだろう。海面より低い土地が多いオランダに住む人は、彼らと海のあいだには常に堤防しかなくても、ほかの北ヨーロッパの人々と同じように、心配もせずに暮らしているではないか。

この問題についいては推測するしかなく、私たちの現在の知識に限界があることは認めなければならないが、それでもやはり、惑星を地球化する構想は可能なのだろうか？

人類が惑星の環境を大幅に変える能力を持っているのを知るには、地球を見れば十分である。オゾン層の破壊、温室効果の増大による地球温暖化、核の冬による地球の寒冷化は、現在の技術が地球環境を大きく変え得ることを示している。いずれも、何かほかのことをする際の不注意が引き起こした結果である。だからもし、意図的に惑星環境を変えようと試みたら、もっと大きな変化を生み出すことができるはずである。私たちの技術がいま以上に強力なものになれば、さらに大きな変化をもたらす可能性もあるだろう。

しかし、並列駐車の駐車場から出るほうが入るよりやさしいのと同じように、惑星の環境

を破壊するほうが、温度や気圧、化学組成などを指定された狭い範囲に調整するよりは簡単だ。私たちはすでに、荒れ果てた人の住めない天体が多数あり、ほんとうに狭い限られた範囲に、唯一の緑に満ちた穏やかな天体があることを知っている。これは太陽系探査の初期に得られた重要な結論だ。地球やほかの天体の大気を変えようとするなら、その暴走には十分に注意しなくてはならない。ほんのちょっと環境を変えるつもりでも、その動きが止まらなくなる恐れがあるからだ。たとえば火星のように、ほんの少し冷えたことが氷河形成へと進んだり、金星のように、ほんの少し暖かくなることがとめどもない温室効果につながるかもしれない。惑星改造について、私たちが十分な知識を持っていないことは明らかである。

私が知る限り、科学的文献上での惑星の地球化に関する最初の提案は、一九六一年に金星について私が書いたものである。私はその当時、二酸化炭素と水蒸気による温室効果で、金星の表面温度は水の沸点を超えていることはかなり確かだと思っていた。私は、遺伝子工学でつくりだした微生物を高層の雲のなかにばらまき、その微生物によって金星大気中の二酸化炭素や窒素や水を有機分子に変換させよう、と考えた。多くの二酸化炭素が取り除かれれば、それだけ温室効果は弱まり、表面は冷える。微生物は大気を漂って地上に降り、高温に焼き殺されてしまうから、水蒸気は再び大気に戻る。しかし二酸化炭素から微生物に取り込まれた炭素は高温のもとで石墨（グラファイト）かその他の不揮発性のものに変わって安定してしまう。その結果、温度は次第に沸点以下に下がり、金星表面は居住可能になって、そ

こここに温水プールや温水湖が見られるようになるだろう。

その案は、たちまち多数のSF作家に使われた。科学とSFとは絶えずやりとりをしていて、科学はSFを刺激し、SFは新しい世代の科学者に刺激を与える。そのやりとりは両方のためになっている。しかし一歩進んだつぎの段階で、金星に特製の光合成微生物をばらまくのは、うまくいかないことがはっきりした。一九六一年以降、金星の雲は濃い硫酸でできていることが発見された。遺伝子工学にとっては、それはかなり難しい問題だった。しかし、考えそのものに致命的な誤りがあるわけではない。濃硫酸のなかで生き延びる微生物もいるからだ。致命的な誤りはつぎの点にあった。六一年当時の私は、金星表面の気圧は二、三気圧で、地球表面の二、三倍しかないと思っていた。いまでは、私たちはそれが九〇気圧もあることを知っているが、もしこの計画がうまくいけば、地表は何百メートルもの石墨で埋まってしまい、ほぼ酸素分子だけからなる六五気圧の大気が残ることになる。そんな高気圧の下では、私たちはあっという間に押し潰されるか、大量の酸素のなかでひとりでに燃え上がってしまうのではないか。もっとも、それほど大量の酸素ができるよりずっと前に、石墨が燃えて二酸化炭素に戻り、計画は挫折してしまう。このような計画では、せいぜい途中までしか金星の地球化はできないのである。

二二世紀初頭までに、比較的安価な大型の宇宙貨物船がつくられてほかの天体へ大量の荷物を運ぶことができ、多数の強力な融合炉がつくられ、遺伝子工学が進歩すると仮定しよう。

この三つは現在の進み具合から見て実現しそうだ。そこで、私たちは惑星を地球化できるだろうか(＊3)。ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）エイムズ研究センターのジェームズ・ポラックと私はこの問題を研究した。ここにその要約を紹介しよう。

金星

問題は明らかに、その強力な温室効果だ。温室効果をほとんどゼロにできるなら、気候は穏やかになるだろう。しかし九〇気圧の大気は重苦しく厚い。表面の切手大の土地に、六人のプロ・フットボール選手を積み重ねたのと同じ重さの大気がのしかかっているのだ。すべてを取り除くことは、何か別のことを取り込んでしまうことになるだろう。

小惑星や彗星を金星にぶつけることを考えてみよう。衝突によって大気の一部は吹き飛ばされるだろう。しかし、大気のほとんどすべてを吹き飛ばすには、少なくとも太陽系に現実に存在する小惑星や彗星より大きなものが必要になる。たとえ衝突させられるものが多数あったとしても、そしてそれらのすべてを金星に衝突させることができたとしても（これは過激な方法で、衝突による大災害という問題を引き起こす）、それで失うものを考えなければならない。どんな素晴らしいものが、どんな実用的な知識となるものがそこにあるのか、だれも知らない。私たちが理解し始めたばかりで、地球についても多くのことを教えてくれそうな、金星の素晴らしい表面地形は消し去られてしまうだろう。これは暴力的な地球化とい

えよう。いつの日かそのようなことができるようになったとしても、私はそのような方法は絶対に避けたいと思う。ほかの天体の環境に対しては、もっと洗練された、もっと繊細な、もっと思いやりのある方法をとりたい。微生物を使う方法は、そのような長所を持っているが、すでに述べたように、うまくいかない。

暗い小惑星を砕いて、その粉を金星の上層大気にばらまくとか、あるいは金星の地表からそのためのちりを運び上げてばらまくという方法も考えられる。これは核の冬や、白亜紀・第三紀境界の衝突後の気候と似たような効果をもたらすだろう。地上に届く太陽光が弱められれば、表面の温度は下がるに違いない。しかしこの方法は、金星を薄暗くしてしまい、昼間でも地球上の月夜程度の明るさになってしまうのだ。そして重苦しい九〇気圧の大気の問題は手つかずのままだ。ばらまかれたちりは二、三年で落ちて堆積してしまうので、二、三年ごとにちりを補給しなければならないだろう。このような方法は短期の探検飛行にはよいだろうが、人間用の自給自足の生活空間をつくるのには向いていない。

金星の軌道に地表を冷やすための巨大な人工日除けを設置する方法もある。しかし、それはとても高価なものになるうえ、ちりの層をつくる方法の欠点の多くがそのまま当てはまる。ともかく温度を下げられれば、大気中の二酸化炭素は雨となって降るだろう。金星に二酸化炭素の海がある時代が訪れるだろう。海の蒸発を防ぐためにはすっぽり覆ってしまうことが必要だが、たとえば外部太陽系から運んできた大きな氷の衛星を溶かして水の海をつくれば、

二酸化炭素は閉じ込められて、金星を水（あるいは弱炭酸水）の惑星に変えることができる。二酸化炭素を炭酸塩の岩石に変える手段も提案されている。

このように、金星を地球化する提案はどれもまだ暴力的で、洗練されておらず、ばかばかしいほど高価だ。望ましく信頼できると思われる方法であっても、惑星が望ましい姿に変わるまでには、私たちの思いも及ばぬような長い時間がかかるだろう。ジャック・ウィリアムソンが想像したようなアジア諸国による金星の植民地化は、どこかほかの天体に書き換える必要がありそうだ。

火星

火星には、金星とは反対の問題がある。温室効果が十分ではないのだ。火星は凍った砂漠だ。しかし、火星には豊富な河や湖、そしておそらく四〇億年前には海すらあった（四〇億年前の太陽は今日ほど明るくはなかった）。この事実は、火星の気候にはもともと不安定なところがあって、わずかなきっかけさえあれば、まったくひとりでに古代の温暖な惑星に戻るだろう、と思わせる。ただし、そうなることは、過去の貴重なデータを保持している火星の地形、とくに層をなした極の地形などを破壊してしまう恐れがあることを、最初に注意しておこう。

地球や金星の例でよく分かるように、二酸化炭素は温室効果ガスである。火星には炭酸塩

鉱物が見つかっており、極冠の一つにはドライアイスがある。それらは二酸化炭素ガスに変換できる。しかし十分な温室効果で火星を快適な気温にするには、火星表面の全体を数キロメートルの深さまで掘らなければならないだろう。だがこれは、核融合エネルギーを使うにせよ非核融合エネルギーを使うにせよ、実際の作業上の問題や、人類が火星に建設する自給自足の閉じた生態系空間の不便さは別にしても、火星表面の独特の科学的資源やデータベースを無責任にも破壊することになるだろう。

ほかの温室効果ガスはどうだろう。地球で製造したフロンやハロン（CFCやHCFC）を火星に持ってゆくことができる。これらの人工物は私たちの知る限り、太陽系のどこにも存在しない。火星を温めるのに十分な量のフロンを地球で製造することは、考えてみてもよい。なぜなら、現在の技術が合成したこの物質が二、三十年たって偶然にも地球の温暖化に寄与していることが分かったのだから。ただ、火星への輸送は高価なものになるだろう。サターン5型やエネルギヤ級のロケットを使っても、少なくとも一世紀間、毎日一回打ち上げなければならないだろう。したがって、おそらくフロンは火星のフッ素含有鉱物から製造することになるだろう。

まだ重大な問題がある。地球上と同様に火星でも大量のフロンはオゾン層の形成を妨げる。フロンは火星の温度を穏やかなものに変えるかもしれないが、太陽の紫外線による障害はきわめて深刻なものになる恐れがある。フロン層の上に、注意深く決められた量の小惑星の粉

末や火星表面のちりで層をつくれば、おそらく太陽光の紫外線を吸収することができるだろう。ところが、私たちは目下、そのどれもが、解決するのに大規模な技術を必要とする副作用を処理しなければならないという厄介な状況の下にいる。

火星を温める第三の温室効果ガスはアンモニアだ。ほんの少しのアンモニアで火星表面を氷点より高い温度に温めることができる。原則として、特別に改造した微生物を使って火星の大気の窒素をアンモニアに変換するべきだろう。地球の微生物には窒素をアンモニアに変換するものがあるが、同じことを火星の条件下で行なわせるのである。同じことを専門工場で行なってもよいだろう。また、必要な窒素は太陽系のほかの場所から火星に運ぶこともあり得る。地球とタイタンの大気中でもっとも多いのは窒素だからだ。約三〇年たつと、紫外線がアンモニアを窒素に戻すので、絶えずアンモニアを補給していかねばならないだろう。

温室効果ガスの二酸化炭素、フロン、アンモニアを上手に組み合わせることで、表面温度を水の融点に近づけることが可能に思える。大気中の水蒸気と、遺伝子工学でつくられた植物が広い範囲で生産する酸素と、表面の環境を微調整することとによって温度はさらに上がり、火星の地球化の第二段階が始まる。火星全般の環境が防護服なしの植民者にも適したものになる前に、微生物や大型植物や動物が住みつくことになるだろう。

火星の地球化は金星のそれよりは、ずっとやさしい。しかしそれでも、現在の水準では高価で、環境破壊的だ。それでも十分に正当な根拠があれば、二二世紀にはおそらく火星の地

球化が始まっているだろう。

木星と土星の衛星

木星型惑星の衛星を地球化するには、難しさの違いがかなりある。おそらくタイタンは、もっとも容易だと思われる。地球のように窒素を主とする大気がすでにあり、金星や火星より地球の大気圧にとても近い。さらにアンモニアや水のような重要な温室効果ガスが表面に凍りついていることは確かだ。現在のタイタンの温度でも凍らない最初の温室効果ガスを製造し、加えて、核融合で表面を直接温めれば、いつの日かタイタンを地球化するための重要な第一歩となるだろう。

ほかの天体を地球化するやむにやまれぬ理由があるとすれば、大改造計画は私たちが述べてきたようなタイムスケールで実現可能になるだろう。小惑星に関しては確実に、火星とタイタン、そしてほかの外惑星の衛星はおそらく可能で、金星はおそらく無理だろう。太陽系のほかの天体を人類の居住に適したものにして、天文台や探検基地、街、住居などをつくるという考えに大きな魅力を感じる人がいることを、ポラックと私は知った。とりわけ開拓の歴史を持つ米国では、この考えは自然で魅力的なのだろう。

いずれにせよほかの天体の大改造は、現在以上にこれらの天体のことを理解してはじめて、

適切に責任をもって行なうことができる。したがって、地球化の提唱者はまず、ほかの天体について長期的で十分な科学的探査を行なうことの提唱者にならねばならない。

おそらく私たちが地球化の難しさを本当に理解したとき、費用や不利な環境があまりに途方もないことが分かり、私たちは天体そのものの改造ではなく、ドームや地下都市、その他の地域的な閉じた生態系、バイオスフェア（閉鎖生態系の実験施設）をさらに発展させたものなどへと、目標を下げることになるだろう。おそらく私たちはほかの天体を地球に近づけようという夢を捨て去るだろう。あるいは私たちがまだ知らない、もっと洗練されていて採算がとれ、環境にも責任が持てるような地球化の方法があるのかもしれない。

しかしその問題をまじめに追求していくと、いくつかの疑問に向き合わねばならなくなる。費用と利益のバランスがとれた地球化計画ができたとして、その結果、重要な科学的情報が破壊されないと、施行前にどれだけ自信をもっていえるだろうか。惑星工学が望ましい成果をつくりだすことができるようになる前に、私たちはその天体についてどれだけ理解していればよいのか。政治的な組織が短命でも、改造された惑星を長期にわたって維持し補給するようなかかわりを保証できるのか。もしある天体に生物が住んでいると考えられる場合（おそらく微生物だけだろうが）、人間にその天体を改造する権利があるのか。将来の世代のために、太陽系を現在の自然の状態のままで残す責任はないのか。将来の世代は、現在の私たちが無知ゆえに思いつけないでいる、ほかの利用方法を考えるのではなかろうか。これらの

疑問は、つぎの最後の疑問に要約できる。この地球をこれほどめちゃめちゃにしてしまった私たちを、信頼してよいのだろうか。

ほかの天体を地球化する技術のうちのいくつかは、すでに私たちが地球に与えた損害を修復するのに使うことができると思われる。緊急に考えなければならないこと、人類が真剣にほかの天体の地球化を考える用意をする際に大事なことは、私たちがこの地球を正しい状態にしているかどうかということである。私たちは、それを地球に対する理解とかかわり方の深さを測る指標として考えることができる。太陽系工学の第一歩は地球の居住性を保証することである。

やがては、私たちは小惑星、彗星、火星、外部太陽系の衛星たち、さらに遠くへと歩を進めてゆく準備をするだろう。そのような時代が二二世紀には始まるというジャック・ウィリアムソンの予言は、それほど外れていないようだ。

ほかの天体に暮らし働き、自分たちの都合でそれを動かしたりすらする私たちの子孫を考えると、なんとも突飛なＳＦのようだ。現実的になれ、と私の頭のなかで声がする。しかし、これは現実なのだ。私たちは技術の先端におり、不可能と決まりきった日常との中間点にいるのだ。あつれきが生じるのは当然だ。しばらくのあいだ自分自身にとって害になるようなことをしないでいれば、現在の有人宇宙ステーションよりも、来世紀の「地球化」のほうが

実現の可能性があるようだ。

ほかの天体に住む経験を持つことで、私たちは変わるはずだと思う。地球外で生まれ育った私たちの子孫は、地球に対する愛着は残っているにしても、彼らの生まれた天体に、当然ながら忠誠心を抱き始めるだろう。彼らの物的需要、その需要を満たす供給手段、技術、社会構造は、すべてが私たちとは違ったものになるはずだ。

草の葉は地球ではありふれたものだが、火星では奇跡になるだろう。火星で生まれた私たちの子孫は、緑に覆われた土地に限りない価値があることを知るだろう。草の葉が価値のないものなら、人間の価値は何なのか。米国独立革命のころの思想家トム・ペインは、つぎのように述べた。

荒野の開墾に必然的にともなう欲望は、人々のなかに、ある社会状態を生み出す。それは、各国政府間の反目や策謀で長いあいだ悩まされてきた国々が大事にすることを怠ってきたものである。そのような状況下で、人はあるべき姿になる。人類を……血縁として見るのである。

不毛の荒涼とした天体ばかりを見てきた私たちの子孫が、人生を大切にするのは当然だろう。地球上における人類の歴史から学んだ彼らは、これらの教訓をほかの天体にもあてはめ

たいと望むだろう。先祖が耐えねばならなかった困難をのちの世代は避けられるようになり、私たちが宇宙への終わりのない進化を始めたときの、経験や誤りを利用していくことだろう。

（＊1）現実には、中国は今世紀の終わりに二人の宇宙飛行士を宇宙船に乗せて軌道に打ち上げることを提案している。改良した長征2Eロケットで、ゴビ砂漠から打ち上げることになるだろう。一九九〇年代のはじめから中頃にかけての急成長ほどではないにしろ、中国経済が適度な成長を続ければ、中国は二一世紀の中頃、あるいはもっと早期に、世界の宇宙大国の一つになるだろう。

（＊2）もし逆であったなら、私たちもほかのすべても宇宙のこの領域にあるものは反物質でできていたことだろう。私たちはもちろんそれを「物質」と呼ぶだろう。天体も生物も電荷が反対の物質でできているとすると、大いに考えさせられる。

（＊3）イースタンニューメキシコ大学名誉教授であるジャック・ウィリアムソンは八五歳のとき、私に手紙をくれた。「私が地球化という提案をしてから、現実の科学がこれほどまで進んだのを見て驚いている」と。私たちは地球化の技術を蓄積しつつあるが、現在のところ、私たちの計画は、ウィリアムソンの最初の考えほど独創的なものではない。

20

暗闇からの声

空のはるか彼方、昼の人目を避けて、見張り人が潜んでいる。

エウリピデス『バッコスの信女』（紀元前四〇六年ころ）から

子どものころ、私たちは暗闇を恐れた。何か分からないものが、そこにいそうだから。分からないことが、私たちを不安にさせた。

皮肉なことに、私たちは宇宙の暗闇で暮らすことを運命づけられている。この予期されざる科学の発見は、わずか三世紀前のことだ。どちらでもよいから、好きな方向に地球から抜け出すと、はじめは青い閃光(せんこう)が見え、太陽が陰るのを長らく待ったあとは、暗闇に包まれ、そこここにほのかな遠い星々が見えるだけだ。

大人になってからも、私たちは暗闇が怖い。その暗闇にほかのだれが住んでいるのか、あまり問いつめないほうがいいという人たちもいる。知らないほうがいい、と。

天の川の銀河系には、四〇〇〇億個もの恒星がある。この無数の星のなかで、私たちの平

凡な太陽が生物のいる惑星を持つ唯一の恒星だ、などということがあり得るだろうか。そうかもしれない。生命、ことに知的生命の出現は、きわめてまれな出来事なのかもしれない。あるいはそうではなくて、文明は絶えず発生し、そしてたちまち自滅してしまうのかもしれない。

もしかすると、宇宙のそこかしこに点々と、ほかの太陽を回っている、地球と同じような天体があるのかもしれない。そこにいる生物は、私たちと同じように、ほかのだれがこの暗闇に住んでいるのかと、空を見上げては考え込んでいるのかもしれない。私たちがはじめて宇宙の声に耳を傾けることに心を決めたこの時期に、天の川が生命や知的生命にさざめいていて、天体がほかの天体に呼びかけているというようなことは、本当にあるのだろうか。

私たち人類は、暗闇を通り抜け、遠大な距離を超えて通信する手段を発見した。これほど速くて安くて、遠くまで届くものはない。それは無線（電波）である。

惑星上で何十億年もの生物進化を経た地球外文明が、私たちと同じ技術水準にあるとは思えない。人間はすでに数百万年も前からこの地上にいるが、私たちが無線を持ってからわずか約一世紀にすぎない。もし、地球外文明が私たちより新参者であるなら、彼らは無線を持つには至っていないだろう。そしてもし、私たちより古くからあるなら、彼らは私たちよりはるかに進んでいるだろう。私たちの天体における過去わずか二、三世紀の技術の進歩を考えてみたらよい。私たちにとって技術的に困難、あるいは不可能なもの、私たちには魔法の

ように思えるものも、彼らにとってはいともたやすいことだろう。彼らは仲間との通信にほかの非常に進んだ手段を使うだろう。だが、新たに出現した文明に接近する手段として無線を使うことも知っているだろう。送信や受信をする技術が私たちと同じ水準であっても、私たちは今日、銀河系の広い範囲にわたって通信することができるのである。彼らのほうは、ずっとうまくやれるに違いない。

もし、彼らが存在するなら。

だが、私たちの暗闇への恐怖が逆らう。地球外生命という考えが、私たちを悩ませる。考えられる反対意見を挙げてみよう。

「あまりにも高くつく」。しかし、現在の技術ならば、一年当たり、攻撃用ヘリコプター一機より安い。

「私たちは彼らのいうことをけっして理解できないだろう」。しかし、私たちが受け取る用意のあるメッセージは無線で送られてくるはずなので、私たちと彼らは共通の電波物理学、電波天文学、無線技術を持っているに違いない。自然の法則はどこでも同じなので、非常に異なる生物のあいだでも、どちらも科学さえ持っていれば、科学自身が通信の手段や言葉を与えてくれる。メッセージを解読することは、もしそれを幸運にも受信できさえすれば、それを得ることよりもはるかにやさしいだろう。

「私たちの科学が幼稚であることを知るのは、士気をくじくだろう」。しかし、数世紀後を

考えれば、私たちの現在の科学の少なくとも一部は、地球外のものにしろそうでないにしろ、幼稚な代物と化しているだろう。（私たちの現在の政治、倫理、経済、宗教の一部もそうだろう。）現在の科学を超えることが、科学の主要な目標の一つである。まじめな学生たちは、教科書のページを繰りながら、著者が語っている先端的な話題について自分は知らなかったことを発見しても、悲嘆に暮れることはまずないものだ。ふつう学生たちは、少々もがきながらも新しい知識を得て、古くからの人類の伝統に従って、ページを繰りつづけるものだ。「歴史を通じて、あらゆる進歩した文明は、少しだけ遅れた文明を破壊してきた」。確かにそうだ。しかし、悪意を持ったエイリアンたちがいるとしても、私たちの存在を発見することはないだろう。なぜなら探索計画は受信するだけで、送信することはないからだ（＊1）。

論争は、いまのところ決着がついていない。私たちはいま、かつてない規模で、宇宙の遠くに存在するかもしれないほかの文明からの電波信号に耳を傾けている。今日、暗闇を探索する最初の世代の科学者たちが活動している。思うに、彼らは交信が成功する前の最後の世代だろう。そしていまは、暗闇のだれかが私たちに呼びかけていることを、私たちが発見する直前の時期だろう。

この探索は、ＳＥＴＩ（地球外知的生命探査）と呼ばれている。ここで私たちがたどってきた道を振り返ってみよう。

最初のＳＥＴＩ計画は一九六〇年、米国ウェストバージニア州グリーンバンクにある国立電波天文台でフランク・ドレークによって実施された。彼は、特定の一つの周波数で二週間、太陽に似た二つの近い恒星に耳を澄ました。近いとはいっても相対的な表現で、近いほうの恒星でも一二光年（約一一〇兆キロメートル）離れていた。

ドレークが電波望遠鏡を向けて作動させたほぼその瞬間、彼は非常に強い信号を捕らえた。それはエイリアンからのメッセージだったのだろうか。やがてそれは消えた。信号が消えれば、それを吟味することはできない。地球が自転しているために空とともに動いてしまえば、それは見えない。それが再び現われなければ、そこからほとんど何も知ることにはならないのだ。それは地球の電波の混信だったかもしれないし、増幅器や検出器の故障かもしれない。あるいはエイリアンの信号かもしれない。再現できないデータは、科学者がいかに意味ありげに報告しても、あまり価値はない。

何週間かのち、その信号が再び検出された。それは、軍用航空機が許可されていない周波数で送信しているものであることが分かった。ドレークは否定的な結果を報告した。だが、科学では、否定的な結果は失敗と同じものではけっしてない。彼の大きな功績は、ほかの恒星を回る惑星たちにあるかもしれない文明からの信号を聴くことが現代技術で十分可能であることを示したことだった。

それ以来、いくつもの試みがあったが、電波望遠鏡を使ったほかの観測計画から一時借用

してなされたものが多く、せいぜい二、三カ月程度だった。さらにいくつかのまぎらわしい信号がオハイオ州、プエルトリコのアレシボ、フランス、ロシアその他であったが、世界の科学界に認められたものはなかった。

やがて、検出の技術はより安くなってきた。感度も向上した。SETIの科学的な信用も高まってきた。そこでNASA（米国航空宇宙局）や議会も、それを支援するのに少しは心配しなくなってきた。多様で相補的な探索戦略が可能になり、必要にもなってきた。この傾向が続けば、包括的なSETI運動が私的な組織（あるいは裕福な個人）にも手の届くものになることが、数年前にはっきりした。そして遅かれ早かれ、政府が大計画を喜んで支援するだろう。三〇年の努力を経て、私たちの一部の人たちにとってはやや遅きに失したものになったが、ついにそのときがきたのである。

一九八〇年にNASA／JPL（ジェット推進研究所）の当時の所長、ブルース・マレーと私が設立した非営利会員組織である惑星協会は、惑星探検と地球外生命の探索とに尽力している。ハーバード大学の物理学者、ポール・ホロビッツは、SETIに多くの重要な技術革新をもたらし、それを試してみることを熱望していた。私たちは、それを始めるのに十分な資金さえあれば、私たちの会員からの寄付によって計画を支援しつづけられると考えた。

一九八三年、私と妻のアン・ドルーヤンは、映画作家のスティーブン・スピルバーグにこ

の計画を持ちかけた。彼は二本の映画のなかでハリウッドの伝統を破って、地球外生命は敵対的でも危険でもないと訴えていたからだ。この映画は二本とも、興行的に成功していた。スピルバーグは賛成した。惑星協会を通じた彼の最初の支援によって、ＭＥＴＡ計画が始まった。

ＭＥＴＡは、「一〇〇万（メガ）チャンネル地球外分析」の頭文字である。ドレークの最初のシステムは単一周波数だったが、それが八四〇万チャンネルにまで広がった。しかし、私たちが調整した各チャンネル、各「放送局」は、非常に狭い周波数域を持つ。それほど狭く鋭い電波の「線」を生み出す仕組みは、恒星や銀河では見つかっていない。もし、それほど狭いチャンネルに入ってくるものを捕らえれば、それは知性と技術を現わすものに違いないと私たちは考えた。

さらに、地球は回っている。そのことによって遠くのどの電波源も、星が出たり沈んだりするように、一定の見かけの動きをするだろう。車の警笛が通過すると急に音程が下がるように、本物の地球外の電波源であるならどれも、地球の自転によって規則的な周波数の変動を示すだろう。これと対照的に、地球表面のいかなる干渉電波源も、ＭＥＴＡ受信機と同じ速さで自転している。ＭＥＴＡの受信周波数は地球の自転の影響を打ち消すように絶えず変えられており、空からのどんな狭い帯域の信号も常に単一のチャンネルに現われるようになっている。しかし、ここ地上の干渉電波はどれも、隣接したチャンネルに移動することで正

体を現わしてしまうだろう。
マサチューセッツ州ケンブリッジにあるハーバード大学のMETA電波望遠鏡は、直径二六メートルである。毎日、地球の自転とともに動きながら望遠鏡は空を見上げ、満月よりも狭い範囲の星々をしらみつぶしに調べている。つぎの日は、隣の区域の星々を調べる。一年を通じて、北天の全部と南天の一部が観測できる。同一のシステムが、やはり惑星協会の後援でアルゼンチンのブエノスアイレス近郊でも南天を調べるために稼働中だ。こうして二つのMETAシステムが全天を探索しつづけていた。

自転する地球に固定された電波望遠鏡は、ある星を約二分間注目し、つぎの星に移る。八四〇万チャンネルは多いように見えるが、各チャンネルの幅は非常に狭い。これらすべてを合わせても、利用可能な電波スペクトルの一〇万分の二か三程度に過ぎない。そのため毎年、私たちはその八四〇万チャンネルを、私たちについて何も知らないエイリアン文明がそれでも私たちが耳を傾けていると思うかもしれない周波数に近い、電波スペクトルのどこかに固定させなければいけない。

水素は、全宇宙のなかで圧倒的に豊富に存在する原子である。それは雲のなかや星間空間に広がっている拡散ガスとして分布している。それがエネルギーを得ると、エネルギーの一部を放出し、正確に一四二〇・四〇五七五一七六八メガヘルツという周波数の電波を出す。(一ヘルツは、検出器に一秒間に山と谷の一組の波が届くことを意味する。したがって、一

四二〇メガヘルツは、一秒間に一四億二〇〇〇万個の波が検出器に入ることを意味する。光の波長は、光速度を波の周波数で割ったものなので、一四二〇メガヘルツは波長二一センチメートルに対応する。）銀河系のどこの電波天文学者も一四二〇メガヘルツで宇宙を研究しているだろう。だから、ほかの天体の電波天文学者も私たちと見かけがどう異なろうとも、同じことをするだろうと期待できるのだ。

それはちょうど、あなたのラジオの周波数バンドにはたった一つの放送局しかないが、だれもその周波数を知らない、というようなものだ。そうそう、もう一つ問題がある。ノブを回して細い印で合わせるラジオの周波数ダイヤルが、地球から月まで広がっているとしよう。この広大な電波スペクトルのなかを、辛抱強くノブを回しつづけながら綿密に探すことは、たいへんな時間の浪費だ。問題は、最初からダイヤルを正しく合わせ、正しい周波数を選ぶことだ。もし、地球外生命たちがどんな周波数で私たちに向けて放送しているか、その「マジック」周波数を正しく当てることができれば、多大の時間と手間を省ける。これが、ドレークと同じように、私たちが最初は、一四二〇メガヘルツの水素の「マジック」周波数に近い周波数で耳を傾けた理由である。

ホロビッツと私は、まる五年間のＭＥＴＡ計画の探索と二年間の追跡調査の詳しい結果を出版した。私たちは、エイリアンからの信号を発見したとは報告できない。しかし、ふしぎな何か、私にとって静かなときにしばしば鳥肌がたつような何か、を確かに見つけたのだ。

もちろん、地球から絶えず出ている背景電波雑音がある。ラジオとテレビの放送局、航空機、携帯電話、近くあるいは遠くの人工衛星などだ。それに、すべての電波受信機がそうだが、長く待てば待つほど、電子回路にランダムな強い揺らぎが出て妨害信号を生むようなことが起こりやすくなってくる。そこで、私たちは背景雑音よりそれほど大きくない信号はすべて無視することにした。

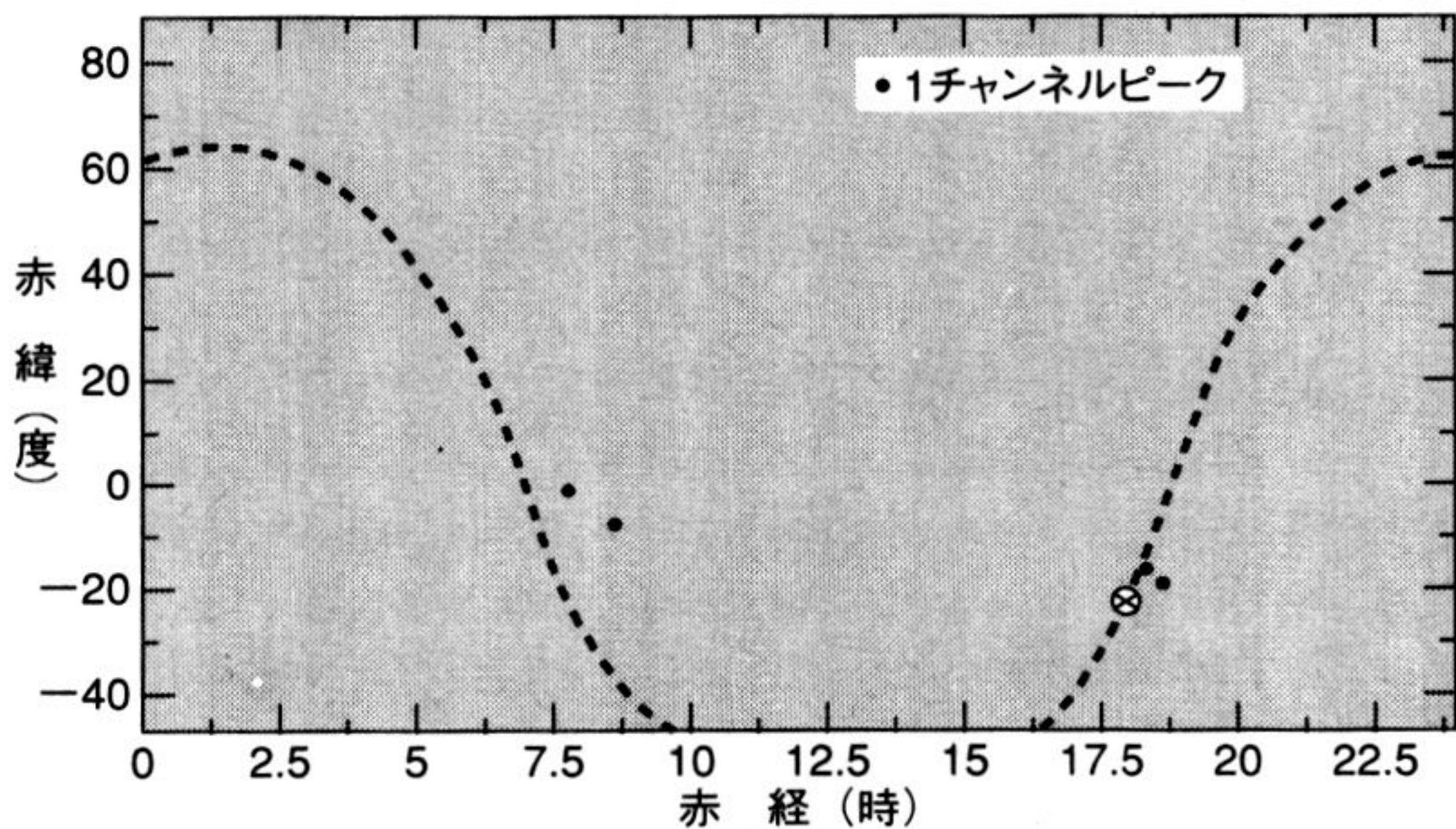
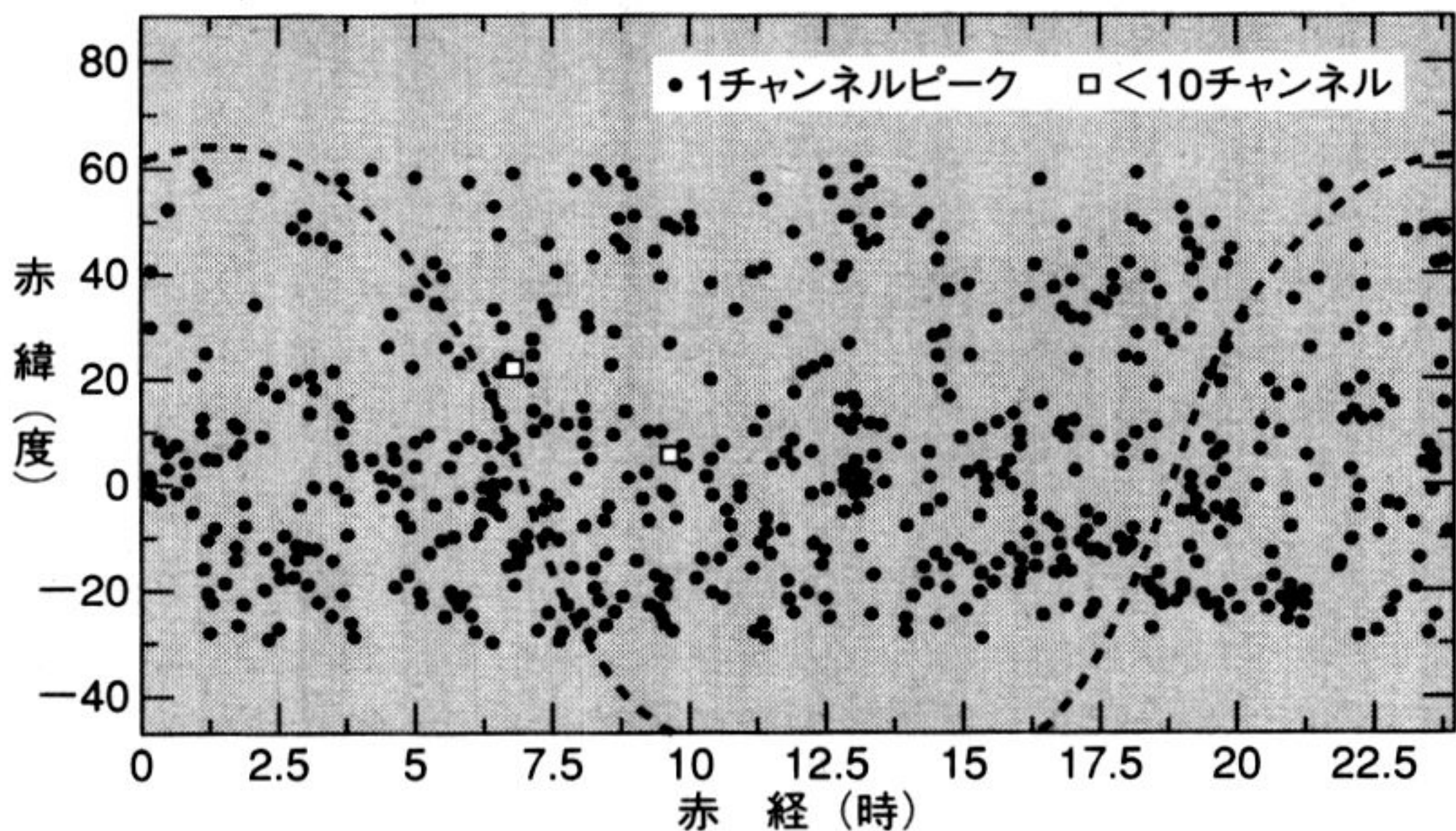
同一のチャンネルにとどまる強い狭帯域信号を、私たちはどれも真剣に受けとめる。データにそれが記録されると、ＭＥＴＡはある信号に注意を払うよう人間のオペレーターに自動的に告げる。五年以上にわたって、私たちは観測可能なすべての範囲を調べて、さまざまな周波数で約六〇兆の観測を行なった。選別した結果、数十個の信号が生き残った。これらはさらに精密に調べられ、そのほとんどすべてが否定された。たとえば、信号検出用のマイクロプロセッサーを調べて欠陥を発見するマイクロプロセッサーによって、異常が発見されたためである。

残ったのは、三回の掃天観測でつかんだもっとも有望な信号で、一一個の「事象」（イベント）だった。それらは、真正のエイリアン信号と認めるための私たちの基準のうち、一つを除いたすべてに合致していた。しかし、合わなかった一つの基準は非常に重要なものであった。それは検証可能性である。私たちは、これらのいずれも再び発見することはできなかった。私たちは空のその部分を三分後に見直してみたが、そこには何もなかった。翌日も再

META計画で1986年11月26日に観測されたET候補信号のデータとシステムの記録。ポール・ホロビッツと著者が「アストロフィジアル・ジャーナル」1993年 9 月20日号に発表した論文から。

び見たが、何もなかった。一年後に調べ、七年後に調べても、いぜん何もなかった。私たちがエイリアン文明からつかんだすべての信号が、私たちが聴き始めてから二分ほどで消えてしまい、けっして繰り返さないようなことはないだろう。そもそも、彼らはどうやって、私たちが注目していることを知るのだろうか。もしかすると、これはまたたき効果かもしれない。星々がまたたくのは、不安定な空気の塊が星と私たちとの間を横切って動いているためだ。時折、これらの空気の塊は、レンズとして働き、星からの光線を少し集束させて、瞬間的に明るくする。同じように、天体の電波源も、星々のあいだの巨大な高真空のなかにある電気を帯びた（またはイオン化された）ガス雲のために、またたくだろう。私たちは、パルサーでこの現象を日常的に観測している。

私たちが望遠鏡で捕らえることができる電波より少し弱い電波信号を考えてみよう。ときには、その信号は偶然、一時的にレンズの焦点が合って、増幅され、私たちの電波望遠鏡の検出範囲のなかに入るだろう。面白いことは、星間ガスの物理から予測されるそうした増光の寿命は二、三分だということだ。そして、その信号を再び捕らえる確率は小さい。私たちはぜひ、こうした電波源をしっかり狙い、何カ月もかけて観察を続けるべきである。

これらの信号のどれも再現しないにもかかわらず、それらについてもう一つの事実がある。私はそれを考えるときにいつも、背筋の凍る思いがする。もっとも有望な一一信号のうちの八つが天の川の銀河面かその近くにあるのだ。強いほうの五つは、カシオペア座、いっかく

空に広がるMETA電波源の分布。赤緯と赤経は、天文学で使われる天空の緯度と経度に当たる。上のグラフは、5年間にわたって2840メガヘルツのマジック周波数（1420メガヘルツの水素線の2倍の周波数）を観測して得られたすべての有力信号を示す。これらの信号は、単一狭帯域チャンネルに現われた信号を含めて、地球外知的生命の判定用にあらかじめ設定されていた基準を満たす。詳しく点検すると、データのほとんどは、電子回路の雑音か地上あるいは人工衛星からの無線周波数の干渉として排除できる。結局、下のグラフのように、天の川の銀河面（点線）に非常に近いところにある四つの事象（イベント）が残った。そのうちの二つは銀河中心（×印）近くにある。ポール・ホロビッツと著者による。「アストロフィジカル・ジャーナル」1993年9月20号から。

じゅう座、うみへび座にあり、二つは、銀河系の中心の方向、いて座にある。天の川は平らで、ガスとちりと星が集まって車輪のようなかたちをしている。天の川が夜空を横切って延びる光の帯として私たちに見えるのは、それが平らだからである。それは、私たちの銀河のほぼすべての恒星が存在するところだ。私たちが捕らえた有望な信号が本当に地球からの干渉電波であったり、検出用の電子回路上の未発見の異常だったりしたとすれば、天の川のほうに向いたときに限って、それが見えるはずがない。

しかし、私たちは、とくに不運な間違った統計処理をしたのかもしれない。銀河面との関係がまったく偶然である確率は〇・五パーセント以下である。最上部に北極星があり、一番下にかすかな星々しかない地球の南極が向く領域がくる全天の壁地図を考えてみよう。この壁地図上に天の川が不規則に曲がりくねって横たわっている。あなたは目隠しされ、マサチューセッツ州からは見えない南天の多くも含まれているこの地図に向けて、でたらめに五本の投げ矢を投げるようにいわれたとしよう。もっとも強い五つのＭＥＴＡ信号がそうだったように、五本の投げ矢の全部を天の川かその近くに当てるには、二〇〇回以上も同じことを繰り返さねばならないだろう。それでも、同じ信号が再び得られなければ、地球外知的生命を本当に見つけたと結論することはできない。

あるいは、私たちが見つけた事象は、地球外文明などではなくて、まだだれも考えたことのない、銀河面に横たわる恒星やガス雲か何かが不可解にも狭い周波数帯域の強い信号を放

射する、新種の天体物理学的現象によるものかもしれない。

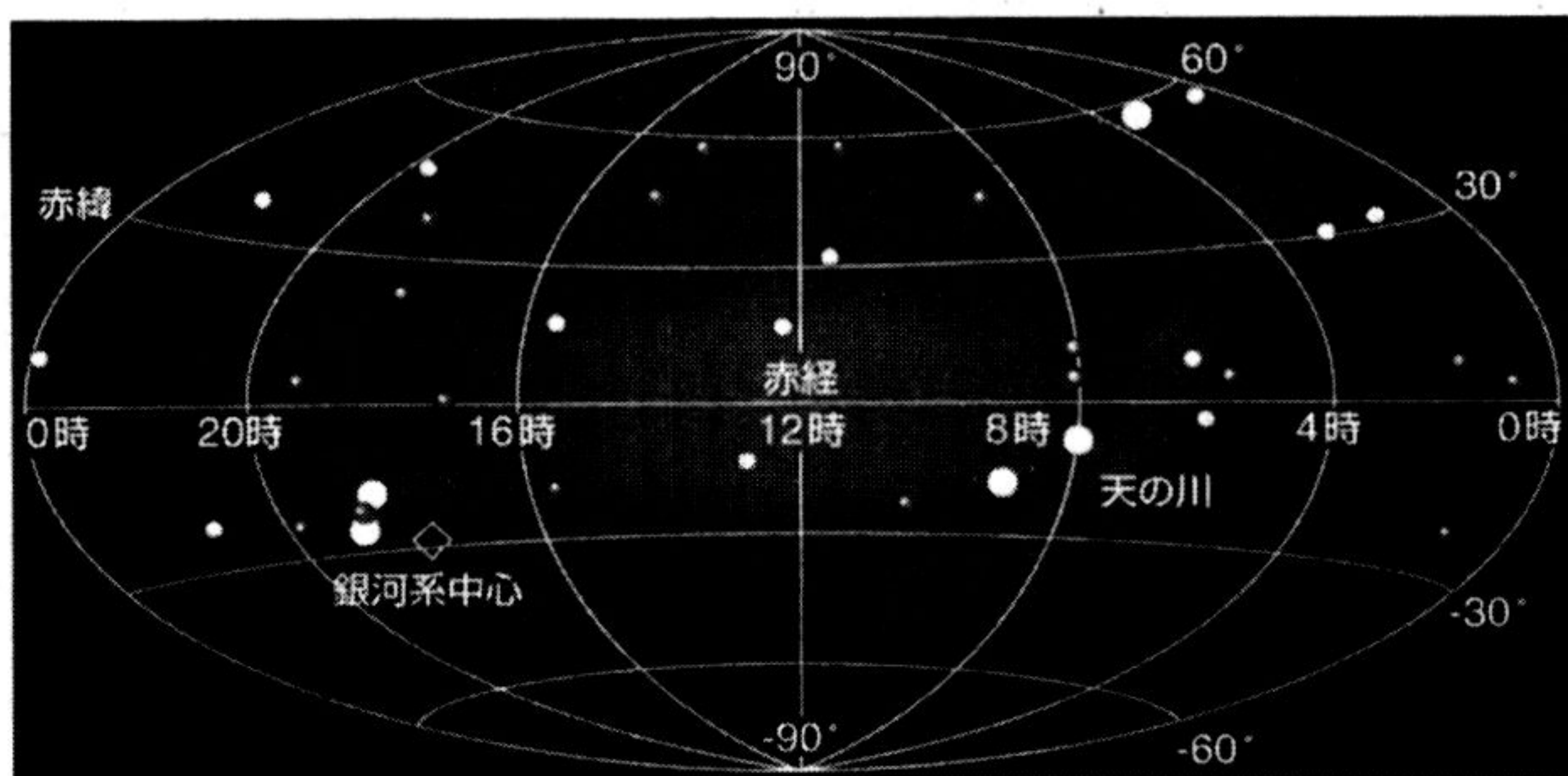
それでも、ここで少しとっぴな推測を許してもらおう。残ったすべての事象が実はほかの文明からの無線標識（ラジオビーコン）だと想像してみよう。すると、空の一区域の観測に費やした時間の少なさから、そうした送信機が天の川全体でどれだけ大量にあるか、を見積もることができる。その答えは一〇〇万に近いものになる。もし空間にでたらめにちらばっているとすれば、そのなかでもっとも近いものは、数百光年離れたところにあり、遠すぎて、彼らはまだ、私たちのテレビやレーダーの信号をつかまえていないだろう。彼らはあと数世紀のあいだ、地球に技術文明が出現したことを知らないままかもしれない。銀河系は生命や知的生命で脈打っているのかもしれないが、彼らが膨大な数の目立たない恒星を絶えず調べていないかぎり、地球で最近起こっていることにまったく気づかない可能性もある。いまから数世紀たって、彼らが私たちからの電波を聴いたあとは、非常に興味深いことになるだろう。幸運にも私たちは、多くの世代をかけて、その時の準備をすることができる。

一方、もし私たちの有望信号がどれも、本当のエイリアンの無線標識でないとしたら、少なくとも私たちのマジック周波数で私たちが聴けるほどの強力な放送をしている文明は、非常に少数しかないか、まったくないと結論せざるを得ない。

私たち自身に似た、だが、宇宙のあらゆる方向に私たちのマジック周波数の一つで標識信号を放送できるような約一〇〇億キロワットの出力を持っている文明を考えてみよう。する

と、METAの観測結果は、二五光年までの範囲にはそうした文明は存在しないことを意味する。その範囲には太陽に似た恒星が多分一ダースある。これは、それほど厳しい状況とはいえない。ところがその文明が、アレシボ天文台（直径三〇〇メートル）と同じ程度のアンテナを使って、直接私たちの位置に向けて放送しているとして、METAが何も見つけなければ、銀河系にはどこにもそうした文明は存在しない。四〇〇〇億個の恒星のなかに、一つもないことになる。だが、彼らがそうしたいと思っても、私たちの方向に送信する方法をどうやって知るのだろうか？

今度は、反対に技術的な極限として、一〇兆倍もの途方もない大きな出力（一〇の二三乗キロワット、太陽に似た恒星の全エネルギー出力）で全方向に放送している非常に高度な文明を考えてみよう。すると、もしMETAの結果が否定的であるとすれば、銀河系にそんな文明は存在しないだけでなく、七〇〇〇万光年先まで一つもない。私たちの銀河系に似たもっとも近いM31銀河（アンドロメダ銀河）にも、M33にも、ろ座系銀河にも、M81にも、子持ち銀河にも、ケンタウルス座Aにも、おとめ座銀河団にも、もっとも近いセイファート銀河にも、一つもないと結論できる。数千の近隣銀河のなかの一〇〇兆個もの星のなかに一つも存在しないのだ。強いか弱いかは別にしても、地球中心主義の自負心が再び頭をもたげてくる。

もちろん、星間や銀河間の通信にそれほど多くのエネルギーをつぎ込むのは、知性でなく

選別されて残った37個の強いMETA信号源。周波数が1420メガヘルツと2840メガヘルツで見つかった。大きな点がもっとも強い五つの信号源。やはり強い信号源が天の川平面に集中していることに注意。Sky Publishing Corp. 1994年複製許諾。ホセ・R・ディアズ作製（「スカイアンドテレスコープ」誌から）。ポール・ホロビッツと著者が「アストロフィジカル・ジャーナル」1993年9月20号に発表した論文から。

愚かさの現われかもしれない。多分、彼らにはあらゆる来訪者を歓迎しない理由があるはずだ。あるいは多分、私たちのような遅れた文明は気にもかけないのだろう。しかしそれでもなお、一〇〇兆個の恒星のなかに、それだけの出力でそのような周波数で放送している文明が一つもないのだろうか。もし、ＭＥＴＡの結果が否定的ならば、私たちは、非常に進歩した文明の数や彼らの通信手段について私たちには知る手だてがない、という限界を教えられる。だが、ＭＥＴＡが何も見つけなくても、私たちよりもっと進んでいてマジック周波数で全方向に放送している文明が満ちあふれる、広大な中間領域が未解決のまま残される。私たちは、彼らからの電波をまだ聴いていないのである。

一九九二年一〇月一二日、めでたいかどうかは別にして、クリストファー・コロンブスによる米大陸「発見」五〇〇周年の記念日に、ＮＡＳＡは自らの新たなＳＥＴＩ計画に着手した。モハーベ砂漠の電波望遠鏡で、全天について綿密に探索することを狙って開始され、ＭＥＴＡのようにどの星が有望かという目星をつけないが、調べる周波数領域は大幅に広げられた。アレシボ天文台では、近くにあって見込みがありそうな恒星に集中した、より高感度のＮＡＳＡの研究が始まった。全面稼働すれば、ＮＡＳＡの探索はＭＥＴＡよりはるかに弱い信号も検出でき、ＭＥＴＡが見つけられなかった種類の信号を探すことができるはずだった。

ＭＥＴＡの経験で、背景の雑音や干渉電波の厄介さが明らかになった。速やかな再観測と信号の再確認を、とくに別の独立した電波望遠鏡によって行なうことが、確実なものにするための鍵になる。ホロビッツと私は、ＮＡＳＡの科学者たちに私たちの消えてしまった不思議な事象の座標を教えた。おそらく彼らは、私たちの結果を確認して明確にすることができるはずだった。ＮＡＳＡの計画はさらに、アイデアを刺激し、学校の子どもたちの好奇心をそそる新技術を開発しつつあった。多くの人の目には、一年間に一〇〇〇万ドルをそれに費やすことは、十分価値のあることだった。しかし、それを正式に決めてからほぼ一年後、議会はＮＡＳＡのＳＥＴＩ計画から手を引いてしまった。彼らは、金がかかりすぎるといった。冷戦後の米国の国防予算は、その約三万倍も大きいのに。

ＮＡＳＡのＳＥＴＩ計画に反対する旗頭である、ネバダ州の上院議員リチャード・ブライアンの主な論点は、つぎのようなものだ（一九九三年九月二二日の議会議事録から）。

これまで、ＮＡＳＡのＳＥＴＩ計画は何も発見していない。事実、この数十年間のすべてのＳＥＴＩ研究は地球外生命を確認できる兆候を何も見つけていない。

現在のＮＡＳＡ版ＳＥＴＩについても、私は、多くの科学者が（予測可能な）将来に確実な結果が見つかることを喜んで保証するとは思わない。

科学研究は、もしそうだとしても、まれにしか成功の保証を示さず、私はそれを理解す

るが、そうした研究の十分な恩恵は、しばしば最終段階まで知ることができない。私はそれも受け入れる。

しかしながら、ＳＥＴＩの場合、成功の見込みはごくわずかで、計画から期待できる恩恵は限られており、この計画に納税者の一二〇〇万ドルを注ぐ正当性に乏しい。

しかし、地球外知的生命を発見する前に、それを発見することをどうして保証できるのか。一方、成功の見込みが「ごくわずか」であることがどうして分かるのか。そしてもし、私たちが地球外知的生命を見つけたら、その恩恵は本当に「限られた」ものなのか。あらゆる偉大な探査事業がそうであるように、私たちは何を発見するか分からず、発見の確率も分からない。もし、それが分かるなら、調べる必要はない。

ＳＥＴＩは、費用対効果がはっきりしていることを望む人たちをいらいらさせる探査計画の一つである。地球外知的生命が見つかるかどうか、発見までどれだけ時間がかかるか、それにどれだけ費用がかかるか、すべて分からないのだ。その恩恵は相当大きいだろうが、本当にそうかどうか確信できない。国家の富の大半をそうした冒険的事業に費やすのは、もちろんばかげているが、大問題を解決しようと試みることに幾分かの配慮を払うべきかどうか、文明国民が判定できないのだろうかと思う。

こうした逆風にもかかわらず、カリフォルニア州パロアルトのＳＥＴＩ研究所を中心にし

た、ひたむきな科学者と技術者たちの一群が、政府がかかわろうとかかわるまいと、前進することを決めた。ＮＡＳＡはすでに資金を払った装置を使う許可を彼らに与え、電子工業界の首脳たちは数百万ドルを寄付し、少なくとも一台の電波望遠鏡が手に入り、全ＳＥＴＩ計画のなかで最大のこの計画の初期段階は軌道に乗った。十分な掃天観測が背景雑音に邪魔されずに可能であることが実証できれば、そしてとくに、ＭＥＴＡの経験からも大いにありそうなことだが、説明できない有望な信号がもし見つかれば、おそらく議会ももう一度心変りし、計画に予算を出すだろう。

その間、ポール・ホロビッツは、ＭＥＴＡとも、ＮＡＳＡがやっていたのとも違うＢＥＴＡと呼ばれる新計画を考え出した。ＢＥＴＡは「一〇億チャンネル地球外分析」の頭文字である。それは狭い帯域の感度と広い周波数領域、それと検出した信号を確認するうまい方法を組み合わせている。惑星協会が新たな支援を見つけられたら、以前のＮＡＳＡの計画よりはるかに安い、このシステムは、まもなく動き出すはずだ。

ＭＥＴＡによって、広大な天の川銀河を通じて降り注ぐ、暗闇の外にあるほかの文明からの送信を私たちが見つけたと、私は信じたいのだろうか。その通りだ。何十年もこの問題に関心を持ち研究してきたので、もちろんそう願う。私には、そうした発見ほど心おどるものはない。それは、あらゆるものを変えるだろう。何十億年にもわたって独立して進化し、宇

宙を多分まったく違った方法で眺め、おそらくずっと洗練されていて、確実に人間ではない、ほかの生物からの信号を、私たちは聴いているかもしれない。私たちが知らないことを、彼らはどれほど多く知っているだろうか。

私には、何の信号もなく、私たちに向かってだれも呼びかけていないということは、気が滅入ることである。ジャン＝ジャック・ルソーは「完全な沈黙は憂鬱へといざなう。それは死の象徴である」といっている。しかし私は、「私が孤独なことがあろうか？　わが惑星は天の川にあるのではなかったか？」といったヘンリー・デイビッド・ソローにくみしたい。

そのような生物が存在し、進化の過程の違いによって彼らは私たちとは非常に異なっているにちがいないことを理解することは、驚くべき意味を持っている。ここ地球で、私たちの仲を裂いている違いが何であれ、私たちと彼らとのあいだの違いに比べれば、とるに足りないものである。それには長い時間がかかるかもしれないが、地球外知的生命の発見は、ささいなことで争い、分裂しているわが惑星を一体化させる役割を果たすだろう。それは、私たちの最後の「大降格」であり、私たち人類が通過すべき儀式となり、宇宙における私たちの居場所を発見しようとする古来からの追求に変容をもたらす出来事だろう。

ＳＥＴＩに魅惑されて、私たちは、満足な証拠がなくても、つい信じてしまいそうだ。だが、これは自分勝手で、ばかげている。私たちが、私たちの懐疑主義を放棄するのは、岩のような硬い証拠に出合ったときに限らねばならない。科学は、あいまいなうちは寛容である

ことを求める。私たちが知らないところは、信じることを控えよう。不確かさが生むいかなる不快感も、より高度な目的に役立つ。それは、よりよいデータを集めるよう私たちを動かす。この態度が、科学とその他のものとの違いである。科学が安っぽいスリルに資するものは少ない。証拠の基準は厳格でなければならない。しかし、それに従えば、それは広大な暗闇さえ照らして、私たちにはるか遠くを見せてくれるだろう。

（＊1）驚いたことに、『ニューヨーク・タイムズ』の論説委員たちを含めて、多くの人々が、地球外生物がいったん私たちがどこにいるかを知ったら、彼らはここにやってきて私たちを取って食うと心配している。憶測上のエイリアンと私たち自身とのあいだにあるはずの大きな生物的違いはさておき、私たちが宇宙でも有名な珍味であると仮定しよう。私たちの多数を、なぜエイリアンのレストランに連れていくのか。輸送料は膨大なものになるのに。ほんの二、三人の人間を奪って、私たちのうまさの源であるアミノ酸か何かの構造を調べ、それを基に同じ食品を合成するだけで済むのではなかろうか。

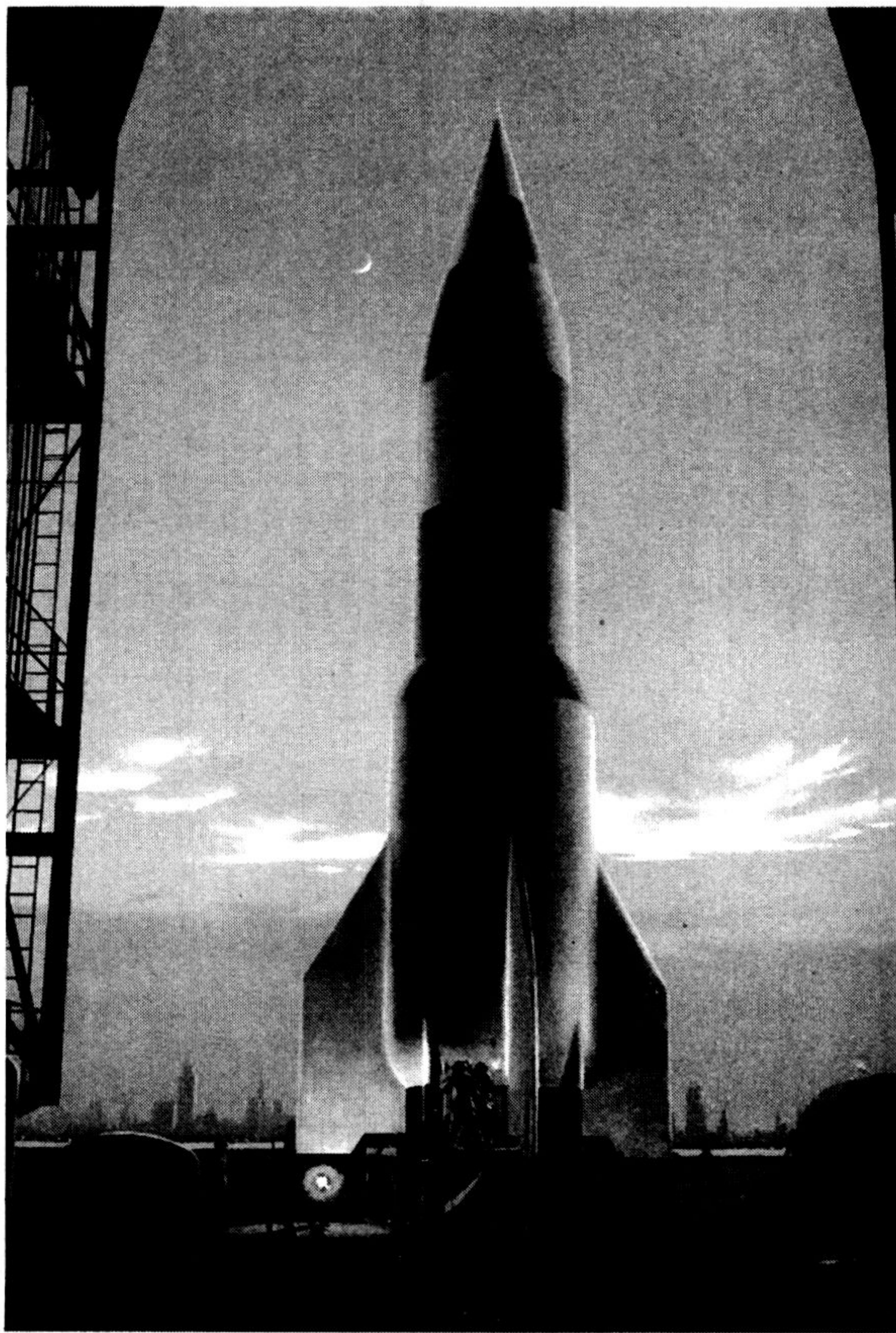
21　天空へ！

彼が天に昇れるように、天空のきざはしが、下りてくる。
おお、神よ。
あなたの手を玉体の下に添えて持ち上げ、天空へとお運びください。
天空へ、天空へ！
死せるファラオへの讃歌（エジプト、紀元前二六〇〇年ころ）から

私の祖父母が子どもだったころ、電灯、自動車、飛行機、そしてラジオは、目を見張るような技術の成果、時代の驚異だった。その素晴らしさを耳にしたことはあったとしても、少なくともブーク川の岸に近いオーストリア・ハンガリー二重帝国の小さな村では、そんなものを見かけることはなかった。だが、その同じ時代、つまり前世紀の終わりのころ、これとは別のはるかに野心的なものを予見していた二人の男がいた。ロシアの無名の町、カルガのほとんど耳の聞こえない学校教師だった、理論家のコンスタンチン・ツィオルコフスキー、そして米国マサチューセッツ州の無名の大学の教授だった、技術者のロバート・ゴダード。彼らはロケットを使って惑星や恒星に旅行することを夢見ていた。彼らは基礎物理学やそのほか多くのことを着実に学習し、彼らの機械は徐々にかたちをなしていった。そして、つい

に、彼らの夢は人に影響を与えるようになった。

当時、そんな考えは、いかがわしいものとされるか、少々狂気の兆しとさえ見なされた。ゴダードはほかの天体への旅行について語ることは物笑いの種になると悟り、星への飛行という遠大な夢については出版することはもちろん、公然と論じることもしなかった。しかし、二人とも十代に啓示のようにして得た宇宙飛行の夢を決して忘れることはなかった。「私はいまだに私の機械で星まで飛んでいく夢を持っている」「希望の光も支援もない逆境で、長い年月にわたって独力でがんばるのは非常に困難だ」と、ツィオルコフスキーは壮年になって書いている。同時代の多くの人は、彼は本当に気が狂っていると考えた。ツィオルコフスキーやゴダードよりも物理学をよく知っている人たちは、アポロ11号の前夜まで撤回されなかった『ニューヨーク・タイムズ』の軽蔑的な社説も含めて、ロケットは真空中では動かず、月や惑星に人類は永久に到達できないと主張した。

一世代ののち、ツィオルコフスキーやゴダードの影響を受けた、ウェルナー・フォン・ブラウンは、宇宙にやっと手が届く最初のロケットV－2の製作に取り組んだ。フォン・ブラウンがそれをナチスのためにつくっていたというのは、二〇世紀によくある皮肉の一つであろう。つまり民間人を無差別に殺す道具として、ヒトラーのための「復讐兵器」としてつくっていたのだ。ロケット工場では、秘密のうちに強制労働者がブースターの製造に駆り出され、フォン・ブラウン自身もナチス親衛隊の将校になった。彼は月を狙っているとさりげな

打ち上げ準備のために発射台に向かうV-2級ロケット。チェスリー・ボーンステル作。（フレデリック・C・デュラント3世提供）

い冗談をいっていたが、そうではなく、ロケットはロンドンを攻撃した。

さらに一世代後、ツィオルコフスキーやゴダードの仕事のうえにフォン・ブラウンの技術的な才能を開花させて、私たちは宇宙に進出した。黙々と地球を周回し、昔のままに荒れ果てた月の表面に歩を進めた。ますます有能で自律性を増した私たちの機械は、太陽系全体に広がって、新しい天体を発見し、それらを綿密に調べ、生命を探し求め、地球と比較しつつある。

このことが、長期の天文学的な展望のなかで、「いま」が本当に画期的な時期である理由の一つである。それは、あなたがこの本を読んでいる年も含めて、めったにない時なのだ。さらに、第二の理由もある。地球の歴史のなかで現在は、ある生物種が、自分自身の自発的な行動によって、膨大な数のほかの生物種にとってばかりか、自らにも危険をもたらしたはじめての時期であるからだ。そのいくつかを数え直してみよう。

⦿私たちは何十万年にもわたって化石燃料を燃やしつづけてきた。一九六〇年代までに、木材、石炭、石油、それに天然ガスを大量に燃やしてきた結果、科学者たちは温室効果が増大することを懸念し始めた。地球規模の温暖化による危険性が一般にも徐々に認識されてきた。

⦿フロン（クロロフルオロカーボン＝ＣＦＣ）は一九二〇～三〇年代に発明されたが、七四年

になって、地球の生命を守ってくれているオゾン層を破壊することが発見された。一五年後、世界的な生産禁止条約が発効した。

⊙核兵器は一九四五年に発明されたが、熱核戦争による世界的な影響の重大さが理解されるのに八三年までかかった。九二年までに、多数の核弾頭が解体された。

⊙最初の小惑星は一八〇一年に発見された。それらを動かそうという提案が、どの程度に真剣かは別にして、一九八〇年代はじめに浮上した。それからまもなく、小惑星の軌道修正技術の潜在的な危険性が認識されるようになった。

⊙生物兵器は何世紀も前からあったが、ごく最近になって恐ろしいことに、それが分子生物学と結合した。

⊙私たち人類は、白亜紀末以来のかつてない規模で、種の絶滅を加速させてきた。しかし、これらの絶滅の規模がはっきりしてきたのは最近の一〇年に過ぎず、しかも、地球上の生命の相互関係に無知だったために、私たちは自身の未来をも危険にさらしている可能性が高まってきた。

以上の各項の年代を見つめ、現在開発中の新技術の広がりを考えてみてほしい。私たちが自分で生み出しつつあるが、まだ発見されていない危険がほかにもあり、多分そのいくつかはさらに深刻なものなのではなかろうか。

独りよがりな思い上がりはそのほとんどが信用に値しないが、そのなかで、支持できそうなものが一つだけある。それは、私たちが特別であるという感覚である。私たち自身がしてきたことや何もしなかったことによって、また私たちが技術を誤って使ったことによって、私たちは少なくとも地球にとって異常な時期、つまり一つの生物種が自分自身を消し去ることができるはじめての時代に生きているということだ。だが、同時に、一つの種が惑星や恒星に旅行できるようになったはじめての時代であることも心に留めてよい。同じ技術によってもたらされたこの二つの時代が、四五億年の地球の歴史のなかの、この二、三世紀で一致している。もし、あなたが過去、あるいは未来のある瞬間にでたらめに地球上に落とされたとしたとき、このような決定的な時機に出合う確率は一〇〇〇万分の一以下だろう。未来に対する私たちの影響力は、いままさに大きいのである。

新たに形成された一つの惑星が恒星の周りを穏やかに回る。生命がゆっくりと誕生する。変幻きわまりない生物の進化が進む。少なくともある段階まで生き残る価値を与える知性が発展する。やがて技術が発明される。そうした現象は、多くの天体で生じるありふれた現象かもしれない。自然の法則のようなものがあり、これらの法則は実験によって明らかにすることができ、これらの法則を知ることで、生命を生かすも殺すも、ともに空前の規模でできることが、彼らには分かってくる。科学は限りない力を授けてくれることを彼らは認識する。突然、彼らは天体を改造する工夫を編み出す。ある惑星文明は、何をすればよいか、何をす

べきではないかの限界を設け、危険な時代を無事に生き抜くように自らの道を見つけていく。だが、それほど幸運でないか、それほど賢明でないほかの文明は滅んでしまう。

結局、あらゆる惑星社会は、宇宙からの衝突の危険にさらされているので、生存をめざすあらゆる文明は、探検や夢を求める熱意からではなく、生きつづけるというもっとも現実的な理由のために、宇宙に進出することを余儀なくされる。そしていったん宇宙に出て何百年も何千年も過ごし、小天体を動かし、惑星を改造してゆくうちに、その生物種は生まれ故郷から離れていってしまう。そうした生命がいるとすれば、ほかの多くの文明も結局、故郷から遠く離れて突き進むことになるだろう（＊1）。

私たちの状況がいかに不安定なものであるかを、危険の性質にまったく触れないままに見積もる方法が提案されている。J・リチャード・ゴット三世は、プリンストン大学の天体物理学者である。彼は私たちに、私が「平凡の原理」と呼んだ、一般化したコペルニクスの原理を採用するように求めている。私たちは本当に特別な時代に生きているわけではないのである。これまで、ほとんどだれも同じだった。私たちは生まれ、私たちの時代を生き、私たちの生物種（あるいは文明、あるいは国家）の寿命のなかほどで死ぬのだ。ほぼ確実に、私たちは最初の、あるいは最後の世代ではない、とゴットはいう。もしあなた方の種が非常に若ければ、それは長くは続かないということになる。なぜなら、それが長く続くものならば、

あなた（それに今日生きている残りの私たち）は、それほど最初に近いところで特別に生きているることになるからだ。

そこで、私たち人類という種の寿命はどれほどと予測されるだろうか。ゴットは、九七・五パーセントの信頼度で、人類は八〇〇万年しか続かないだろうと推定している。それが彼の上限で、多くの哺乳類の種としての平均寿命と同じくらいなのだ。私たちの技術は害ももたらさなければ、助けてくれることもないとして計算した場合だ。しかし、ゴットの下限の予測では、人類の余命は、同じ信頼度でわずかに一二年となる。もっとも、いまの赤ん坊が十代になっても健在である確率が四〇分の一だなどと、ゴットがいうはずはないが。私たちは日常の生活で、それほど大きな危険は懸命に避けようとし、四〇分の一の確率で墜落するような飛行機には乗らないだろう。私たちは死ぬ確率が五パーセント以上の病気でなければ、九五パーセントの患者が生き延びる手術に同意はしないだろう。もし私たち人類があと一二年しか生き延びられない確率が四〇分の一であるとしたら、非常に重大な関心を寄せなければならない。ゴットがもし正しければ、私たちは太陽系を飛び出すこともないばかりか、他惑星に最初の足跡を印す時間すらない恐れがある。

私は、ゴットのいうことで不安になり、気が滅入ってくる。私たち人類の種としての年齢を除けば、あとは何も考慮に入れないで、将来の見通しについて高い信頼性をもって数値評価する。いったい、どうやって？　私たちは勝利者について考えるのだ。これまで生き残っ

てきたものは、これからも生き続ける可能性が高いと思われる。新参者は消えやすいと考えればよい。もっとも、私たちがこの問題を考えているこの瞬間は、何ら特別なときではないという前提がなくてはならないが。そうはいっても、なぜ、この議論に不満なのだろうか。それは、私たちはその意味するところにぞっとするからだ。

「平凡の原理」は非常に広く応用できるはずだ。しかし、私たちはすべてが平凡であると思うほど無知ではない。私たちの時代にだって、何か特別のことがあるはずである。それは、どの時代に生きる人も間違いなく感じている、その時代特有の熱狂というのではなく、これまで述べたように、私たち人類の未来の可能性に密接に関連した明確で独特な何かである。現代は、（a）指数関数的に成長してきた私たちの技術が自己破滅の危機に到達した最初の時代であるとともに、（b）私たちはどこかほかの場所、地球を離れたどこかに行くことによって、破滅を先に延ばしたり、避けたりできる最初の時代でもあるのだ。

これら（a）と（b）二つの可能性は、まったく相矛盾したかたちで、私たちの時代を特別なものにしている。ゴットのいうことを（a）は強めるし、（b）は弱めてしまう。人類の絶滅を、新しい宇宙飛行技術が先に延ばしてくれるよりも先に、破壊的な新技術がそれを早めてしまうのかどうか、私は予言できない。けれども、私たちは自分たちを全滅させる手段をこれまで考え出したことは決してなかったし、ほかの天体に移住するための技術を開発したこともやはりなかったのだから、まさにゴットの議論の文脈では私たちの時代は特別で

あるということこそ注目しなければならない、と私は考える。これが事実なら、先行きの見通しについて、こうした見積もりの誤差の幅を大きく広げることになる。最悪はより悪くなり、最善はより良いほうに向かうだろう。つまり、私たちの短期的な見通しは、その短期間を生き永らえることができたとしても、ゴットの試算よりもっと暗くさえなり、長期的な展望はそれより明るくさえなるのである。

だが、後者が満足する理由にならないのと同じように、前者の場合でも絶望する理由にはならない。私たちの命運が無情にも尽きてしまうことに望みをなくして、呆然と手をこまねくことはない。もし、私たちが運命の首根っこをしっかりつかまえることができなくても、私たちはたぶん運命を違った方向に向かわせるか、和らげるか、あるいは運命から逃れることができるだろう。

もちろん、私たちは自分たちの惑星を快適なすみかに保たなければならない。それも、気長に数百年あるいは数千年もかけてではなく、数十年あるいは数年という短い時間でだ。それには、政府、産業、倫理、経済、それに宗教が変わらなければならないだろう。私たちにはそんな経験はなく、とくに全地球規模ではまったくない。それは私たちには難しすぎるかもしれない。危険な技術があまりにも拡散しすぎているかもしれない。腐敗があまりに幅を利かせすぎているかもしれない。あまりにも多くの指導者たちが、将来より目先のことに捕らわれているかもしれない。争っている民族集団、国家、それにまさに世界的な変化をめざ

す主義主張が多すぎるかもしれない。私たちは本当の危機が何なのかも、あるいは、その多くが根本的な変化を最小限にしようとする既得権益を持つ人たちによって左右されていることに、気づかないほど愚かなのかもしれない。

それでもなお私たち人類は、信じられないくらい長期にわたる有為転変の歴史をしのいできた。むかし、私たちは自分自身のためだけでなく、子どもたちや孫たちのために働いてきた。私の祖父母や両親も、私のためにそうしてきた。私たちはしばしば、違和感や嫌悪感を乗り越えて、力を合わせて共通の敵に立ち向かってきた。一〇年前に比べて今日の私たちは、目前の危険を積極的に認識しようとしているように見える。新たに認識された危険によって、私たちすべてが同じように脅かされている。それがこの地上にどのように現われるのか、だれにも分からない。

古代中国の神話では、月は不死の木の茂るところだった。不死ではないにしても長寿の木は、ほかの天体に生えているように思われる。そこに私たちが行けるとしたら、多くの天体に自給自足の人間社会があるようになったら、人類は大破局から逃れられるだろう。ある天体の紫外線を吸収する遮蔽帯が壊れてしまったら、それは別の天体の遮蔽帯に特別に注意するようにという警告になるだろう。ある天体で破局的な衝突があったとしたら、ほかのすべての天体はしばらくは無事のままでいられるだろう。私たちが地球を遠く離れるほど、私た

ちが住む天体の違いは大きくなり、惑星改造も変化に富んできて、社会規範や価値観も多様性を帯び、人類という種の安全は増すだろう。

もしあなたが、地球の一〇〇分の一の重力の天体の地下で成長し、穴を通して暗黒の空を眺めて暮らしたら、あなたの知覚や関心、偏見、性質は、故郷の惑星の表面で暮らす人とはまるで違ったものになるだろう。火星の表面で暮らして地球化に苦闘していても、同じことがいえるだろう。金星やタイタンであっても、そうだろう。多くの小さな繁殖集団に分かれ、強さや関心が少しずつ異なり、それぞれ独自の誇りを持っている、そのような生き方は、地球上での生命進化、とくに私たち人類の祖先たちが広く採用してきたものだ。それは実際に、私たち人間がなぜいまこのようであるのかを理解する鍵なのかもしれない（＊2）。このことが、宇宙における人間の存在が永続的なものになり得る、これまで気づかれずにきた二つ目の理由である。それによって、予測できる破局ばかりでなく、予測不可能な破局に対しても、私たちが生き残る可能性は高まるだろう。ゴットは、ほかの天体に人間社会を築くことは、私たちが確率に打ち勝つ最良の道だろうともいっている。

こうした保証を得ることは、それほど高価ではないし、地球でなされるほかのことに比べて規模も大きくはない。現在、宇宙開発に取り組んでいる国々の宇宙予算はどこも、軍事予算よりも、あるいはぎりぎりか少な過ぎると思われる福祉予算よりもずっと少ないに違いないが、その宇宙予算を倍増する必要もないほどだろう。私たちはまもなく、地球近傍小惑星

に人間を着陸させ、火星に基地を建設できるだろう。私たちは現在の技術でも、人間一人の生涯よりも短い期間でやりとげられる方法を知っている。それに技術は速やかに進歩する。私たちはますます宇宙に進出しやすくなるだろう。

人類をほかの天体に送り出すことは、一年当たりの予算はそれほど高くつかないので、地球上で緊急を要するほかの課題と深刻に競合することはない。もし私たちがこの道を選べば、ほかの天体からのさまざまな映像が光の速度で地上に送られてくることになるだろう。仮想現実の技術は、そうした冒険を地上にいる何百万人もの人たちの手に届くものにし、自分たちの身代わりが参加しているにもかかわらず、過去の探検や発見の時代よりもはるかに、自分が参加しているような現実感に富んだものにするだろう。そしてそれがますます文化と人々を鼓舞し、興奮させ、このような傾向はますます盛んになるだろう。

しかし、私たちはいかなる権利によって、ほかの天体たちに住み、改造し、征服するのか。太陽系にほかにだれかが住んでいるなら、これは重大な問題だ。だが、私たち以外のだれもいないとしたら、私たちはそこに住む権利があるのではないだろうか。

もちろん、私たちの探検や入植は、惑星環境と科学的知識に配慮して進められるべきである。十分に慎重でなくてはならない。当然、そうした探検と移住は、平等で国境を超えた全人類の代表によってなされるべきだ。私たちの過去の植民の歴史は、こうした点では参考にはならない。今後の時代は、一五世紀や一六世紀のヨーロッパの探検家たちのように、金や

的にしか進まない主な理由の一つである。

香辛料や奴隷や、異教徒を単一の信仰に改宗させようという熱意などによって動かされることはない。実際、このことが、あらゆる国の有人宇宙飛行計画が時折思い出したように断続

本書のはじめのほうで私は人間の偏狭さについて文句をいったのだが、ここで私は私自身が、弁解しようのない人間中心主義者であることに気づく。この太陽系にほかの生命がもしいるとすれば、人間の進出によって、彼らは差し迫った危機に直面することになるだろう。そうした場合、どこか別の天体に移住して私たち人類の安全を確保することは、私たちがほかのすべての生命に及ぼす危険によって、少なくとも一部は相殺されることに、私は納得さえしてしまうに違いない。しかし、これまでのところ、ほぼ間違いなく、太陽系のほかの天体には生命はいない。微生物の一つすらいない。いるのは地球の生命だけなのだ。

したがって、地球生命のために、私たちが持つ限りの知識を活用して、わが太陽系についての知識を膨大に増やしたうえで、他の天体に移住を始めることを私は勧めたい。

忘れられている現実的な問題をあげておこう。やがてやって来る破局的な衝突から地球を守り、私たちを支えてくれている環境に対する、未知のものも含む多くの他の脅威に備えることだ。こうした問題に触れなくては、火星やその他の天体に人類を送り込むことについての根拠は説得力を欠くことになるだろう。だが、それとともに、科学、教育、そして将来への見通しや期待までも含めた問題が検討されれば、強力な論拠ができると私は考える。もし、

私たちの長期にわたる生存が危ういならば、私たちは人類という種に対して、ほかの天体に立ち向かうべき基本的な責任を負っている。

凪（な）いだ海の航海者である私たちは、いま、微風がそよぎ始めたのを感じている。

（＊1）青年期を生き延びた惑星文明は、新技術と苦闘しているほかの文明を励ましたいと望むだろうか。たぶん彼らは、自分たちの存在や、自滅を避けることはできるという誇らしい声明を知らせたいと特別な努力を払うだろう。それとも、彼らははじめは警戒するであろうか。彼ら自身が生んだ破局を避けたあと、暗闇のかなたで勢力拡大中の未知の文明が生活圏を広げようとしたり、攻撃してくることがないように、たぶん彼らは自分たちが存在することが知られるのを恐れるだろう。このことが、私たちが近隣の恒星を探検する際に慎重でなければならない理由であろう。

彼らはほかの理由で沈黙しているのかもしれない。進歩した文明の存在を知らせることで、新参文明が自分たちの未来を守るのに最善の努力をせず、だれかが暗闇から救いにやって来てくれることを期待させてしまうかもしれないからである。

（＊2）アン・ドルーヤンと私の前著『はるかな記憶』（朝日文庫）を参照。

22　銀河を行く

銀河を行く沈み行く星々にかけて……

これは、偉力ある誓言であるぞ、お前たちは知るまいが——

『コーラン』五六章（七世紀）から。井筒俊彦訳

もとよりただならぬことである、地上の宿りをはや捨てて、

学び覚えたばかりの世の慣習をもはや行うこともなく……

ライナー・マリア・リルケ『ドゥイノの悲歌』第一の悲歌（一九二三年）から。手塚富雄訳

天に昇り、空を駆け上がり、他天体を私たちの目的に合わせて改造する、こんな将来を想像するとき、たとえそれがよい意図に基づくものであっても、警戒の念を起こさずにはいられない。人間は傲慢になりがちであること、強力な新技術を示されると判断を誤りがちであることを、私たちは知っているからだ。「バベルの塔」を思い出す。「その頂上がいまにも天に届きそうな」建物、そして、「彼らが望めば、もはや何もそれを妨げるものはない」と、神が人間を恐れる話だ。

聖書の「詩編」一一五―一六には、ほかの天体は神のものであるというつぎのくだりがある。「天は主のもの、地は人への賜物」。あるいは、プラトンがバベルの物語をギリシャ風に書き直した「オトスとエフィアルテス」の話もある。彼ら二人の人間は、大胆にも天に昇ろ

うとした。神は選択を迫られた。思い上がった人間を殺し、さらに「その種を雷によって滅ぼす」べきか？　ある意味では、「これは、神が求め、人間が神に捧げる犠牲と崇拝の最後のもの」になるだろう。「しかし、一方では、神はこうした傲慢を看過することはできなかった」

とはいえ、もし、長期的にはほかの選択肢がないなら、あるいは、多くの天体に出ていくかまったく出ていかないかという選択なら、私たちには、別の種類の神話が必要だ。勇気づけてくれるような神話が。実際、それはある。ヒンズー教からグノーシス主義キリスト教、モルモン教まで、多くの宗教が、不敬に聞こえるかもしれないが、神になることこそ人間の目標であると教えている。あるいは、旧約聖書の「創世記」と深くかかわるユダヤの「タルムード」の一節を見てもいい。それは、リンゴと知恵の木、人間の堕落、そしてエデンの園からの追放の物語とは必ずしも一致しない。楽園で、神はアダムとイブに、わざとこの世界を未完成のままにしたのだという。「創造を完成させる」という神の「栄えある」実験に神とともに参加することは、人間の世代を超えた責任だというのだ。

こうした責任は実に重い。とりわけ、私たちのように非力で不完全で、不幸な歴史を持つ種にとっては。かりそめにも「完成」などということをめざすには、私たちが今日持っているよりはるかに多くの知識が必要だ。しかし、それに私たちの存在そのものがかかっているとすれば、何とかしてこの崇高なる挑戦を可能にしなければならないだろう。

ロバート・ゴダードは、これまで私がしてきたような議論を十分につきつめたわけではなかったが、直観的に「人類の存続のために惑星間飛行を成し遂げなければならない」と考えていた。コンスタンチン・ツィオルコフスキーも同様のことをいっている。

宇宙には、地球のような数多くの惑星がある……人類はそのうちの一つをすみかとしている。しかし、なぜ、ほかの惑星や、無数にある太陽の力を利用できないというのか……私たちの太陽がそのエネルギーを使い果たしてしまったら、その太陽は捨てて、まだ生まれたばかりで元気な別の星を探すのは当然のことだ。

こうしたことは、「新たな天体を征服しようという冒険心によって」、太陽が死ぬよりずっと前に行なわれてしかるべきだと、彼はいう。

しかし、こうした議論全体を改めて考えてみて、私は戸惑いを覚えている。これは、あまりにも、バック・ロジャース（ＳＦの世界の英雄）的ではないか。未来の技術に対して、ばかばかしいほどの過信を要求しているのではないか。人間は間違いを犯しやすいと自分で警告しておきながら、それを無視しているのではないか。短期的に見れば、技術面であまり進んでいない国のことを考えていないことも事実だ。こうした落とし穴を避ける、現実的な選

択肢はないのか。

私たち自身がもたらした環境問題や大量破壊兵器はすべて、科学と技術の産物である。ならば、科学と技術から手を引いてしまおうという人がいるかもしれない。こうした道具は要するに熱すぎてうまく扱えないのだと認めよう、そして、私たちがどんなに軽率で近視眼的でも、地球規模はおろか、地域的にも環境を変えたりすることはできないような、もっと単純な世界をつくり直そうではないか。新しい知識は厳しく制限し、最低限の農業中心の技術へと戻ろうではないか。独裁的な神権政治が、こうした統制を行なう絶対にして確実な方法である。

しかしながら、技術の進歩の速さを考えれば、そうした世界は、少なくとも長期的に見る限り不安定だ。人間の自己向上心や羨望、競争心といったものが水面下では常に脈打っているから、短期的・地域的な利益を得るものが早晩出てくるに違いない。思想や行動に厳しい制限が課されない限り、私たちが今日あるところに一瞬にして戻ってしまうだろう。厳しく統制された社会では、統制者が巨大な権力を握り、非道な抑圧とその結果としての反乱を引き起こすことになる。技術によってもたらされる富や利便性、人命を救う薬品といったものをいったん知ってしまうと、人間の独創性や所有欲を抑えることはきわめて難しくなる。そして、もし、こうした地球文明の退化が可能になったとしたら、今度は、自ら招いた技術的な破局が問題となる一方で、いつ起きるともしれない小惑星や彗星の衝突に対して、無防備

なままに置かれることになってしまう。
　あるいはもっとさかのぼって、狩猟採集社会にまで戻ったらどうかと考える人がいるかもしれない。農業すら放棄し、大地の自然の産物にのみ頼る生活だ。投げ槍、掘るための棒、弓矢に火、これだけの技術があれば十分だ。しかし、地球は最大限数千万人の狩猟採集者しか養うことができない。私たちがいままさに避けようとしている破局を引き起こすことなくして、いったいどうやって人口をそこまで減らせるのか。さらにいえば、私たちはもはや、狩猟や採集によって生きる術を知らない。当時の文化や熟練した技、道具は忘れてしまった。動物たちのほとんども殺してしまったし、動物たちを養ってきた環境のほとんども破壊してしまった。昔に戻ることをたとえ最優先しても、ごくごくわずかの人を除けば、私たちにはもうそれはできないことなのだ。そして、繰り返しになるが、たとえそういう生活に戻れたとしても、私たちは、いずれ来る小天体の衝突という破局の前に無力でいるほかない。
　こうした選択肢は苛酷に過ぎるし、実効的ではない。今日私たちが直面している危機は科学技術によってもたらされたものであり、しかも根本的には、それにふさわしい知恵を持たないまま強大な力を手にしたのが原因である。技術が私たちの手にもたらした天体改造の力はいまはじめて、それにふさわしい思考と洞察力とを私たちに求めているのだ。
　科学はいうまでもなく、二つの道を開いた。つまり、その産物は、善悪どちらの目的にも使えるのだ。しかし、科学からの撤退はない。技術がもたらす危機についての初期の警告も

また科学から発せられた。問題の解決には、単に技術面だけでなく、それ以上のものが求められている。多くの人がもっと、科学のことが分かるようにならなければならない。制度や振る舞いを変えなければならないかもしれない。いずれにせよ、私たちが抱える問題は、その原因が何であろうと、科学なくして解決は考えられない。私たちに脅威となる技術も、その脅威を避けるものも、もとは同じところから来ている。二つは並んで走っているのだ。

一方、いくつかの天体にそれぞれ人間社会があれば、私たちの将来はもっと明るいものになる。それだけ、可能性が多様になる。文字どおり「卵を多くの籠に入れて持つ」ことになるのだ。それぞれの社会は、その道徳や技術、社会慣習、伝統などを誇るだろう。必然的に文化的な相違点がより育まれ、強調される。こうした多様性こそが、生存の武器となるのだ。

地球外の社会がうまく自活していこうと思ったら、技術の進歩や偏見のない精神、冒険心といったものを奨励するに違いない。たとえ、地球に残された者たちが用心深くなり、新しい知識を恐れ、厳しい社会統制を余儀なくされていたとしても。いったん、ほかの天体で自活できる最初の数集団が定着したら、地球人も統制を緩め、軟化するかもしれない。宇宙にいる人間は、まれだが、いったん起きれば壊滅的な小惑星や彗星の衝突に対して、地球にいる人間に真の意味の防御を与えることができる。もちろん、まさにこの理由によって、宇宙にいる人間は、地球にいる人間とのあいだに深刻な論争が生じたとしても、優位を占めることになるだろう。

そうしたときが来るという予想は、将来に関するほかのさまざまな見方ときわめて対照的だ。たとえば、科学技術の進歩はいまや徐々に限界に近づきつつあるという見方、あるいは、美術や文学、音楽は、私たち人類が過去のあるときに到達した高みには、近づくことも、ましてや超えることはないという見方、また、地球の政治は、岩石のごとく安定な、自由で民主的な世界政府、ヘーゲルのいうところの「歴史の終わり」に近づこうとしている、といった見方だ。宇宙へと拡大していくことはまた、独裁主義、検閲、民族間の憎悪、そして、好奇心や学問に対する深い懐疑といった、それぞれ別物ではあるが、同じようなものと認識される近年の傾向とも好対照を成している。私は、太陽系に移り住むことは、計画の多少の手直しさえすめば、新しい時代の始まりを告げるものだと思う。科学技術の輝ける進歩が限りなく続き、文化が花開き、政府や社会的な組織の広範な実験が宇宙を舞台に行なわれる時代である。つまり、太陽系を探検し、ほかの天体に住みつくことは、少なからぬ点において、歴史の終わりなどではない、始まりを記すことになるのだ。

少なくとも私たち人間にとっては、何世紀も先とはいわなくても、未来を予測することは不可能だ。矛盾なく詳細な未来を描けた人は、いまだかつていない。もちろん私自身も、できるとは思わない。私は、いささかの恐れを抱きつつ、この本をここまで書き進んできた。というのも、私たちは私たちの技術によってもたらされた、これまで経験したことのない挑

戦を、認めつつあるところだからだ。こうした挑戦には、直接のかかわりもあり、私はそのいくつかを描いてきたつもりだ。しかし、あまり直接ではなく、もっと長期的にかかわるものもあり、それについては私自身、あまり自信がない。しかし、参考のために、少し書いてみたい。

もし、私たちの子孫が、地球近傍小惑星や火星、外惑星の衛星や彗星のカイパー・ベルトに住みついたとしても、まだ完全に安全というわけではない。いずれ、太陽はとてつもないX線や紫外線を放出させるかもしれないし、太陽系は近くに潜んでいた巨大な星間雲のなかに入り込み、惑星は暗く冷えるかもしれない。また、オールトの雲から彗星が死のシャワーとなって降り注ぎ、多くの天体の文明を危機に陥れるかもしれない。近くの恒星が超新星になろうとしていることに気づくかもしれない。そして、最終的には、赤色巨星への道をたどりつつある太陽が大きく明るくなり、地球の空気と水は宇宙空間へと逃げ始め、土壌は黒く焦げ、海は蒸発して沸騰し、岩も気化して、地球そのものが太陽の内部に飲み込まれてしまうかもしれない。

太陽系は私たちのためにつくられているどころか、私たちにとってきわめて危険なものになるのだ。太陽系がこのところいかに安定しているとはいえ、私たちの運命をたった一つの恒星に託すのは、危険が大きすぎる。つまるところ、ツィオルコフスキーやゴダードがずいぶん前にいったように、私たちは太陽系を離れなければならないのだ。

もし、私たちがそうなら、ほかの知的生命たちにとっては違うのか、そう尋ねる人がいて不思議はない。そして、もしほかの知的生命たちにとってそうなら、彼らはここにいないのに、なぜそうなのか。それには、いろいろな答えが可能だ。証拠はきわめて乏しいが、彼らがここへ来たことがある、というのもその一つだろう。あるいは、星間飛行が可能になる前にほぼ例外なく自ら滅んでいったから、もうだれもいないのかもしれない。あるいは、四〇〇億個もの恒星がある銀河系のなかで、私たちが最初に技術文明を持ったのだと。

もっと現実性のありそうな答えは、宇宙は広大で恒星同士が遠く隔たっているという単純な事実にあるように、私には思える。私たちよりずっと古く、はるかに進歩した文明があったとしよう。もともとの天体から外へ出て、新しい天体を開拓し、さらにほかの恒星へと広がっていっていたとしても、カリフォルニア大学ロサンゼルス校（ＵＣＬＡ）のウィリアム・I・ニューマンと私の計算によれば、そのような文明がここにはまず、ありそうにない。そして、光の速さは有限だから、ある技術文明が太陽を回る惑星の上で発信したテレビやレーダーのニュースはまだ、彼らのもとに届いていないだろう。

楽観的な推測をし、一〇〇万個の恒星のうち一つは、その近くに技術文明を持っているとしよう。そして、それが天の川にでたらめにばらまかれていると仮定して計算すると、一番近くのものは二、三百光年のところにあることになる。もっとも近ければ一〇〇光年、おそらくは一〇〇〇光年、そして、もちろんどこまで行ってもない、ということもある。ほかの

恒星の周りにある惑星の、一番近い文明が、たとえば、二〇〇光年のところにあると仮定しよう。いまから一五〇年ほどすると、彼らは、第二次世界大戦後のテレビやレーダーのかすかな信号を捕らえ始めるようになる。彼らはそれをどうするだろうか。年がたつにつれて、信号はより強く、より興味深く、そしておそらくより警報的なものになっていくだろう。ついに、彼らは、信号を送り返したり、訪問することによって、それに答えようとするかもしれない。いずれにせよ、その返答は光速の制限を受ける。こうした、相当大ざっぱな数字を使った計算でも、今世紀半ばに深宇宙に向けて発せられた偶然の呼びかけに対する答えが返ってくるのは、二三五〇年ころより前ではあり得ない。もし、その文明がもっと遠ければ、さらに時間はかかる。もっともっと遠ければ、ずっと長い時間がかかる。ここで、興味深い可能性が出てくる。私たちが、あてずっぽうではなく、私たちに宛てられたエイリアンの文明からのメッセージを最初に受け取るのは、私たちが太陽系のほかの多くの天体に住みつき、さらにつぎへと移動する準備をしているときかもしれないのだ。

こうしたメッセージが届くにせよ、届かないにせよ、私たちがほかの太陽系をめざして広がりつづけるには、十分理由がある。恒星によってもたらされる危険から遠く離れた星間空間の自給可能な居住地に私たちの一部を住まわせるのは、予測不能で荒々しいこの銀河系の一角では、ずっと安全なことなのだ。そうした未来は、星間飛行というような壮大な目標を立てなくても、ゆっくりと、ごく自然に進んでいくと、私には思える。

安全のために、ほかの集団やその倫理規定、技術的な要請などに影響されないよう、ほかの人類とのつながりを切ってしまおうとする集団があるかもしれない。彗星や小惑星の軌道が日常的に変えられるようになるころには、私たちは小天体に住めるようになり、やがて自分たちの天体を切り離すことも起こるだろう。代を重ねるうちに、その天体はどんどん遠ざかっていき、それにつれて、地球は明るい星から暗い点になり、やがては見えなくなってしまうだろう。太陽もだんだん暗くなり、ついにはかすかに黄色い光の点となって、何千というほかの恒星のなかにまぎれてしまうだろう。旅人たちは、星間空間の闇に近づいていく。共同体のなかには、故郷の天体とときには電波やレーダーで交信しようという者もあるかもしれない。しかし、そのほかの者は、彼らだけのほうが生き残りの可能性は高いと信じ、むしろ悪影響を受けることを恐れて、消えてしまおうとするだろう。おそらく彼らとのつながりは完全に失われ、その存在すら忘れられてしまうだろう。

しかしながら、適当な大きさの小惑星や彗星の資源は無限ではないから、いずれ資源をもっとほかの場所に求めざるを得なくなる。とくに、飲用にしたり、呼吸する酸素や核融合炉の燃料となる水素の供給源としての水はそうだ。結局、どの共同体も天体から天体へと移動せざるを得ず、ある天体にずっと忠誠心を抱く、などということはない。それは、「開拓」あるいは「入植」と呼べるかもしれない。もっとも、あまり好意的でない観察者は、それを、小天体の資源をつぎからつぎへとしゃぶり尽くす行為、というかもしれない。しかし、オー

ルトの雲には、一兆個もの小天体があるのだ。

太陽から遠く離れた、継母たる目立たない天体に少人数で暮らしていると、一片の食べ物も一滴の水も、きちんとした見通しに基づく技術を円滑に運用してこそ得られるということが分かるはずだ。しかし、こうした状況は、私たちがこれまで慣れてきたのとひどく違うというわけではない。地下から資源を掘り出したり獲物を捕まえたりするのは、忘れ去られた子どものころの思い出のように、奇妙に身近に感じられる。つまりそれは、多少の変化はあったにせよ、狩猟採集者であった私たちの先祖の生き方なのだ。地球上に人類が住んでいた時間の九九・九パーセントは、そうした生活だった。現在の地球文明に飲み込まれる直前の最後の狩猟採集者たちの例から判断する限り、私たちは比較的幸福だったのかもしれない。そうした生活は、私たちを鍛えてくれたようなものだ。そして、短く、ほんの少しだけ成功だったといえる定住生活を試したのちに、私たちは再びさすらい人となるのかもしれない。もちろん、前回よりはるかに技術は進んではいる。だが、その前回ですら、石器と火という私たちの技術だけが唯一、絶滅から私たちを守ってくれたのだ。

もし、孤立して遠く離れているほうが安全だというなら、私たちの子孫の一部は、オールトの雲の外側の彗星にまで移住することになるだろう。そこには、彗星の核は、隣どうしがほぼ地球と火星のあいだくらい隔たっていて一兆個もあるから、かなりのことができるはずだ(＊1)。

新しい地球が、遠く離れた連星の一方である、太陽のような星の周りを回っている。（ドン・デイビスによる想像図）

私たちの太陽のオールトの雲の外側の端は、一番近い恒星までの距離の半分くらいのところにあるだろう。すべての恒星ではないにせよ、おそらく多くは、オールトの雲を持っているはずだ。太陽が近くの恒星のそばを通り過ぎるとき、ちょうど二つの蚊の群れが衝突することなく互いにすり抜けるように、私たちのオールトの雲は、別の彗星の雲に出合い、通り過ぎるだろう。別の星の彗星を捕獲することが、私たちの太陽の彗星を捕獲することよりずっと難しいということはない。どこか別の太陽系からきた青い天体の子どもたちが、間違いなく明るい惑星であることを示す光の点々が動いていくのを、あこがれの思いで見つめているかもしれない。かつての人間が抱いた海や太陽光への愛情が湧き上がってくるのを感じながら、新しい別の太陽に属する明るくて暖かで穏やかな惑星を求めて長い旅に出る集団があるかもしれない。

そのほかの集団は、こうした移動には欠点があると考えるかもしれない。惑星には、自然の破局がつきものだ。惑星には、すでに、生命や知的生命がいるかもしれない。惑星は、外から発見されやすい。それより、闇のなかに潜んでいるほうがいい。多くの小さくて暗い天体のあいだに散らばっているほうがいい。隠れているほうがずっといいと。

いったん、機械や私たち自身を故郷の惑星から遠く離れたところに送れるようになれば、つまり、宇宙という劇場に本当の意味で入るようになれば、これまで経験したこととは似て

も似つかぬ現象に出合うことになるに違いない。たとえば、こんな三つの例が考えられる。
まず第一に、太陽から木星までの距離のほぼ一〇〇倍に当たる五五〇天文単位（AU）のあたり、つまりオールトの雲よりはるかに手が届きやすいところだが、そのあたりからとてつもないことが現われ始める。普通のレンズが、遠くの物体に焦点を合わせるように、重力も同じ働きをする。遠くの恒星や銀河による重力レンズの効果が現在、確認されつつある。もし光速の一パーセントの速さで旅すればわずか一年しかかからない、太陽から五五〇天文単位のところで、レンズが効き始める。もっとも、太陽のコロナや太陽の周りの電離ガスによるハローの効果を計算に入れれば、その距離はもっと遠くなる。そこでは、遠くの電波信号はぐんと強められ、ささやきが増幅される。ごく普通の電波望遠鏡を使った場合でも遠くの画像が拡大され、一番近い恒星の距離で大陸が見分けられ、一番近い渦巻き銀河の距離でそのなかの惑星系が分かるほどだ。適当な焦点距離のところに太陽を中心とする想像上の球殻を考え、そこに自由に行けるならば、宇宙を驚くほどの拡大率で探検し、かつてないほどの明瞭さでのぞきこみ、もしあるなら遠くの文明の電波信号に耳を澄ませ、宇宙の歴史のごくごく初期に起きた出来事を垣間見ることができる。逆に、重力レンズによって、私たちが発するかすかな信号をはるか彼方で聞いてくれるかもしれない。私たちが何百天文単位、何千天文単位の彼方に惹かれるのは、十分理由のあることなのだ。ほかの文明も、彼らの恒星の質量と半径によって決まる、固有の重力レンズを持っている。私たちより少し短いものも

あるだろうし、少し長いものもあるかもしれない。重力レンズは、それぞれの文明が、彼らの太陽系の惑星領域をちょうど越えたあたりを探検しようとする、共通の誘因となっているのだ。

第二に、温度が非常に低い想像上の星である褐色矮星についてちょっと考えてみよう。これは、木星よりはかなり大きいが、太陽よりはるかに小さい星だ。褐色矮星が本当に実在するのかどうか、だれにも分からない。ある研究者らは、近くの恒星を重力レンズとして使って、より遠くにある星を見つけ出し、褐色矮星が存在する証拠を捕らえたと主張している。これまでにこうした方法で観測されたのは全天のごく一部で、それから考えれば、とてつもない数の褐色矮星があることになる。これに反対している研究者たちもいる。一九五〇年代、ハーバード大学の天文学者ハーロー・シャプリーは、彼自身の呼び方によれば「リリパット(『ガリバー旅行記』に出てくる小人の国)の星」である褐色矮星にはすでに人が住んでいると述べた。彼によれば、その表面はケンブリッジの六月のような暖かさで、多くの地区に分かれている。そのとおりなら、人間がそこで生き延び、開発することが可能な星なのかもしれない。

三番目に、ケンブリッジ大学の物理学者B・J・カーとスティーブン・ホーキングは、宇宙の初期の物質密度のゆらぎによって、さまざまな型の小さいブラックホールが生まれた可能性があることを示した。この原始ブラックホールは、もしあったとすればだが、量子力学

の法則によって、宇宙空間に放射をしながら崩壊していくはずだ。ブラックホールの質量が小さいほど、速く消えてしまう。もし原始ブラックホールが現在、崩壊の最終段階にあるとすれば、それは山くらいの重さになるはずだ。それより小さいものは、すでに消えてなくなってしまっている。原始ブラックホールの存在自体はともかくとして、果たしてそれがどれくらいあるか、それは、ビッグバンの直後に何が起きたかによるので、本当にそれが見つかるのかどうか、だれにも確かなことはいえない。だから、近くにあるかどうかも、分からない。ホーキング放射の一部である短い波長のガンマ線のパルスを見つけることがまだできないので、どのくらいあるのかも決められない。

また、カリフォルニア工科大学のG・E・ブラウンと、核物理学の先駆者であるコーネル大学のハンス・ベーテの研究によれば、恒星の進化の途上で生まれた非原始ブラックホールが約一〇億個、銀河系全体にばらまかれているという。もしそうなら、一番近いものは、一〇光年か二〇光年のところにあるかもしれない。

もし、ブラックホールが手の届くところにあるとすれば、それが山ほどの重さか星ほどもあるのかにかかわらず、私たちは、驚嘆すべき物理学を直接に研究できるばかりでなく、恐るべき新エネルギー源を手に入れることになる。もちろん、褐色矮星や原始ブラックホールが二、三光年のところにあるのだとか、どこにでもあるのだなどというつもりは決してない。しかし、私たちが星間空間に足を踏み入れれば、まったく新しい種類の驚異や喜びに出合っ

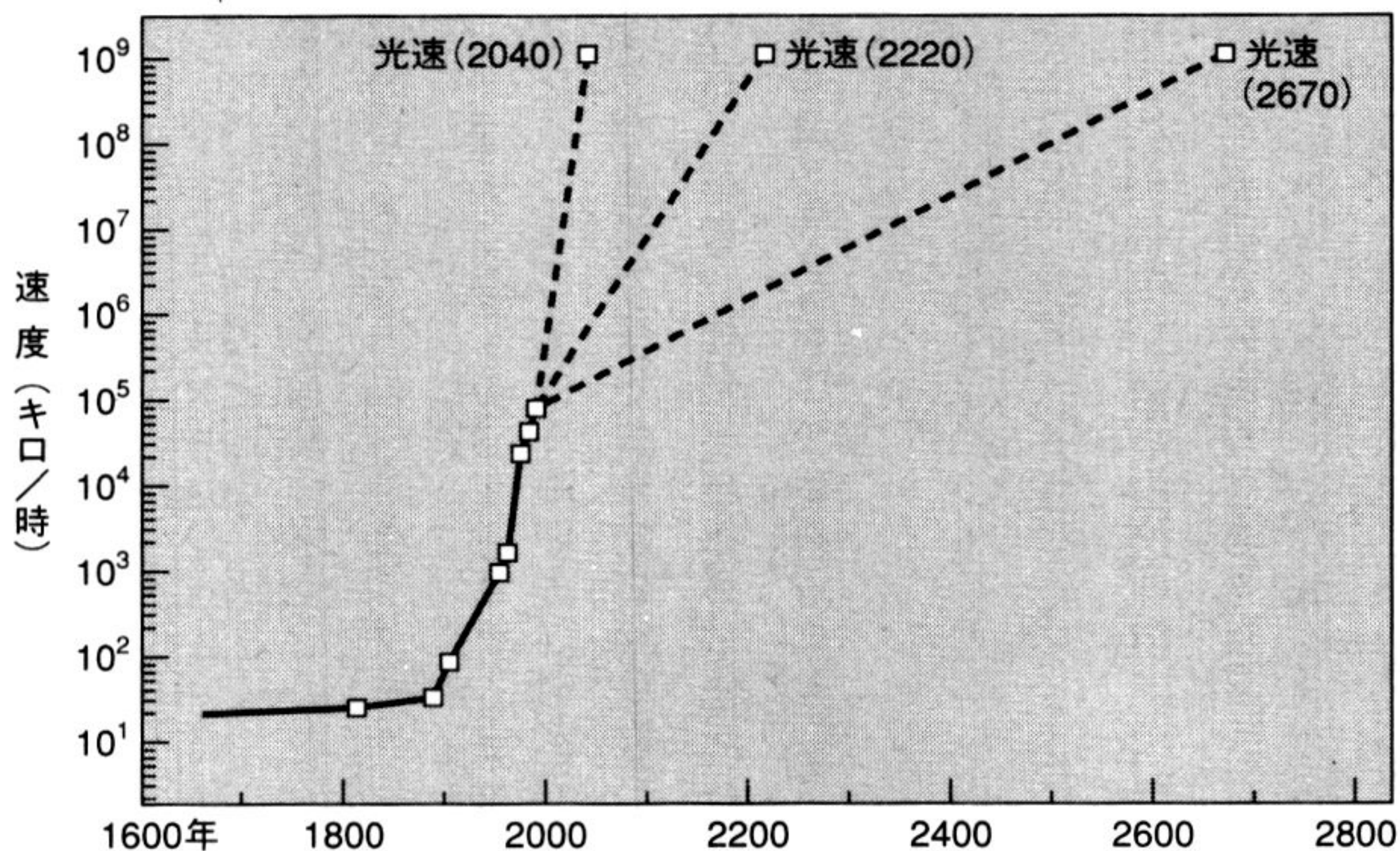
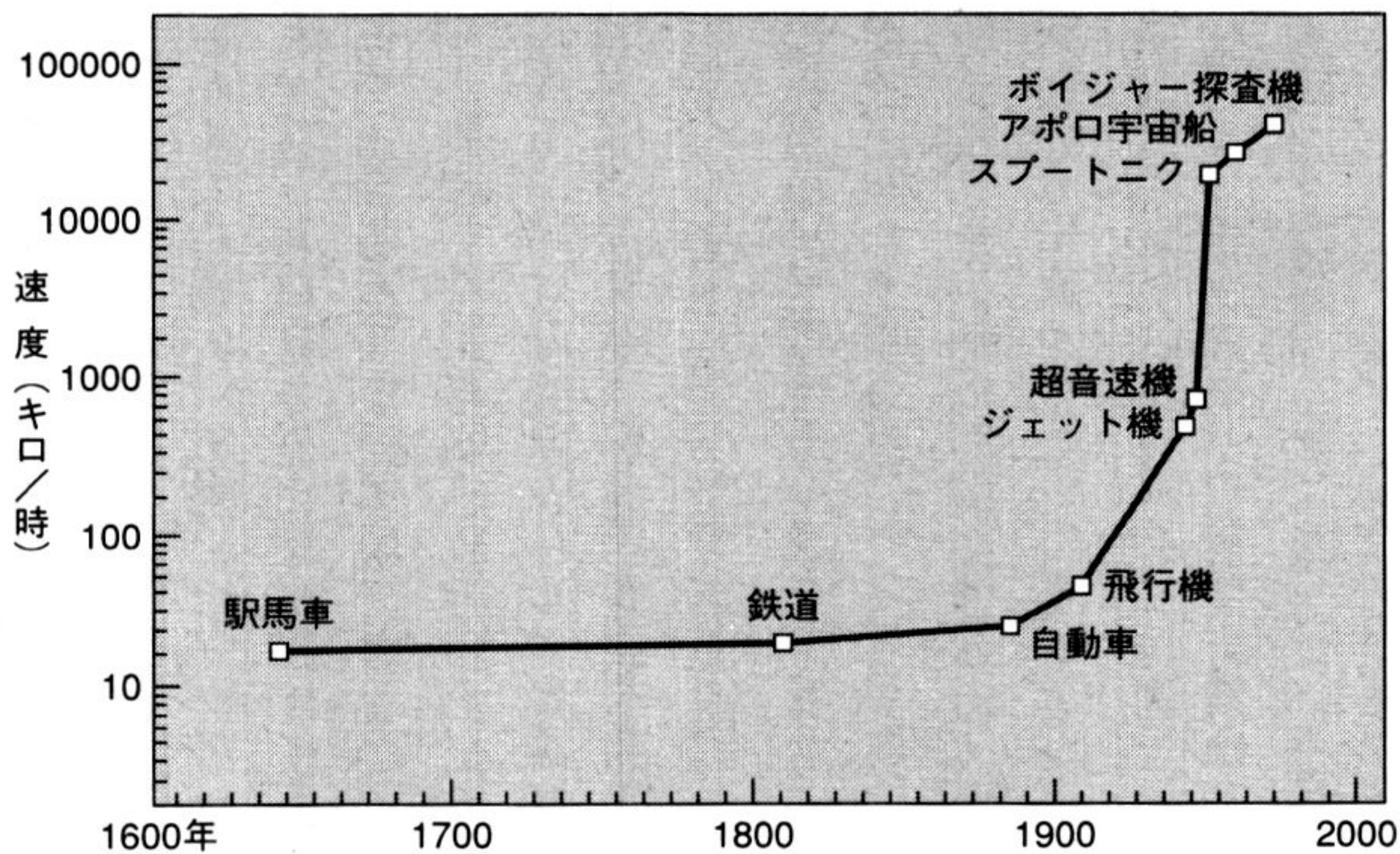
て仰天することはまず間違いない。そのうちのあるものは、実際に利用できるかもしれない。
こうした一連の話がどこで終わりになるのか、私には分からない。時間がたてばたつほど、宇宙動物園の魅力的な新しい仲間が私たちの興味をさらに外へと広げ、まずありそうにもないが破局的な危機も起こりやすくなる。その確率はだんだん大きくなる。しかし、時がたつにつれ、技術を手に入れた生物種は、私たちが今日想像し得るよりはるかに強大な力を持つようになる。もし、私たちが幸運なだけでなく、十分に技術を磨けば、私たちは最終的にはおそらく、故郷を遠く離れて広がり、広大な天の川銀河の星の島々のあいだを航海していくことになるだろう。もし、だれかと出合えば、というより彼らのほうが私たちに出くわせば、私たちは仲良く交流することになるだろう。なぜなら、宇宙を旅するほかの文明は私たちよりずっと進んでいるはずで、けんか好きの人類など、星間空間ではとても長続きしそうにないからだ。
結果的に、私たちの未来は、多くの人のなかでもとりわけヴォルテールが想像したつぎの言葉に要約されるだろう。

ちょうど鳥が枝から枝へと飛び歩くように、彼らは、あるときは太陽光線の力を借りて、またあるときは彗星を利用して、天体から天体へと移っていった。ほんの短い時間で、天の川をわたっていった……

私たちはいまでも、若い星の周りにあるガスとちりの円盤をつぎつぎと見つけている。それはまさに、四五億年前、私たちの太陽系で地球やその他の惑星が生まれるもとになったものだ。いま私たちは、微細なちり粒がどうやって天体にまで成長していくのか、その過程を理解し始めたところだ。たとえば、地球のような惑星がどの程度の大きさにまで成長すると、突然水素やヘリウムを捕らえてガス巨星の隠された核になるのか、また、地球型惑星がどの程度の小ささにとどまれば、大気があまりない状態になるのか。私たちはいま、天体の歴史を再構成しようとしているところだ。初期の太陽系の冷え冷えとした外縁部で、どうやって氷や有機物が集まっていったのか、また、若い太陽によって温められた太陽系の内側では、どうやって岩石や金属が集まっていったのか。さらに、私たちは、初期における衝突の重要な役割についても、理解し始めたところだ。それは、天体を噴き飛ばし、巨大なクレーターや盆地を天体の表面や内部に刻み、天体の回転を速め、衛星をつくったりあるいはなくしたり、環をつくり、海全体をいわば空から運びおろし、そして、最後に、天体の創造の締めくくりとして、有機物を表面にふりかけた。私たちはこうした知識を、太陽系以外にも応用し始めたところだ。

つぎの数十年のうちに、近くの恒星の周りにある多くの成熟した惑星系について、その配置や化学組成のようなものを調べる本当の機会がやってくるだろう。そうすれば、私たちの

太陽系のどの部分が共通で、どの部分が例外なのかも分かるだろう。木星のような惑星と海王星のような惑星、あるいは地球のような惑星、このうち、どれがより普遍的なのだろう。あるいは、ほかの太陽系もすべて、木星型と海王星型と地球型の惑星を持っているのだろうか。ほかに、まだ私たちの知らない、どんな種類の天体があるのだろう。どの太陽系も、彗星の巨大な球形の雲の中に包みこまれているのだろうか。空にあるほとんどの恒星は、私たちの太陽のように単一で存在するのではなく、複数の星が連星系をつくって互いに軌道を回り合っている。そうした系に、惑星はあるのだろうか。もしそうなら、それはどんな惑星だろうか。現在私たちが考えているように、太陽の起源からすれば必然的に惑星系が生まれるとするなら、別の場所では、また違った進化の過程をたどるのだろうか。私たちよりずっと古い、たとえば、私たちより何十億年も長い進化の歴史を持つ惑星はいったいどんなふうになっているだろうか。これからの二、三世紀で、ほかの太陽系に関する私たちの知識は飛躍的に深まるだろう。私たちは、どこを訪ね、どこに種をまき、そしてどこに住みつけばいいのか、分かるようになるだろう。

私たちが古きよき大地で慣れ親しんできた1Gという加速度で継続して加速できるとしよう。それで、旅の中間地点まで行き、そこから目的地につくまで、今度は1Gで継続的に減速していく。すると、火星に着くのに一日、冥王星まで一週間半、オールトの雲まで一年、そして、一番近い恒星までは二、三年で行けることになる。

上のグラフは、最近数世紀にわたる人類の移動速度の推移を示したもの。20世紀になってから、3000倍にもなっていることが分かる。初期の自動車は時速20キロメートルにも満たなかったのに、ボイジャー探査機は時速５万キロメートルほどにも達している。ここから今後の動向を推定すると、下のグラフのようになる。３本のうちどれが実現するか分からないが、いずれにせよ、今後数世紀のうちに、人類は光速での移動を実現する可能性がある。

交通手段の最近の進歩を考えれば、控えめに見積もっても、二、三世紀のうちには光速に近い速度で旅することが可能になるはずだ。もっとも、これはどうしようもなく楽観的な見方かもしれない。実際には、何千年かあるいはそれ以上かかるかもしれない。しかし、私たちが私たち自身を先に破滅させてしまわない限り、狩猟採集者だった私たちの先祖からはボイジャーがとうてい想像できなかったように、私たちには想像もできないようなまったく新しい技術が将来発明されることだろう。今日ですら、光速に近い宇宙船をつくる方法は考えられる。それは間違いなく、不格好で、どうしようもなく高価で、効率が悪いだろうけれど。しかし、いずれ、もっと美しく、ほどほどの費用で、しかも効率的なものになるだろう。彗星から彗星へと飛び回る必要性にかられる日がきっと来るだろう。私たちは何光年もの宇宙の旅を始め、聖アウグスティヌスが古代ギリシャやローマの神々についていったように、空を植民地とするのだ。

そうした子孫たちはおそらく、かつて惑星に住んだことのある人からさらに何十代、何百代という世代を重ねていることだろう。二〇世紀後半、宇宙の海原にはじめて少しだけ飛び出してみたほとんど神話的な彼らの先祖に比べれば、彼らの文化はまったくの別物だろうし、技術ははるかに進み、言葉も変化し、機械の知能との結びつきもずっとずっと親密で、外見もはっきり違うものになっているだろう。しかし、少なくともかなりの部分で、彼らも人類だ。彼らは、高度に進んだ技術の実践者であり、歴史も持っているだろう。聖アウグスティ

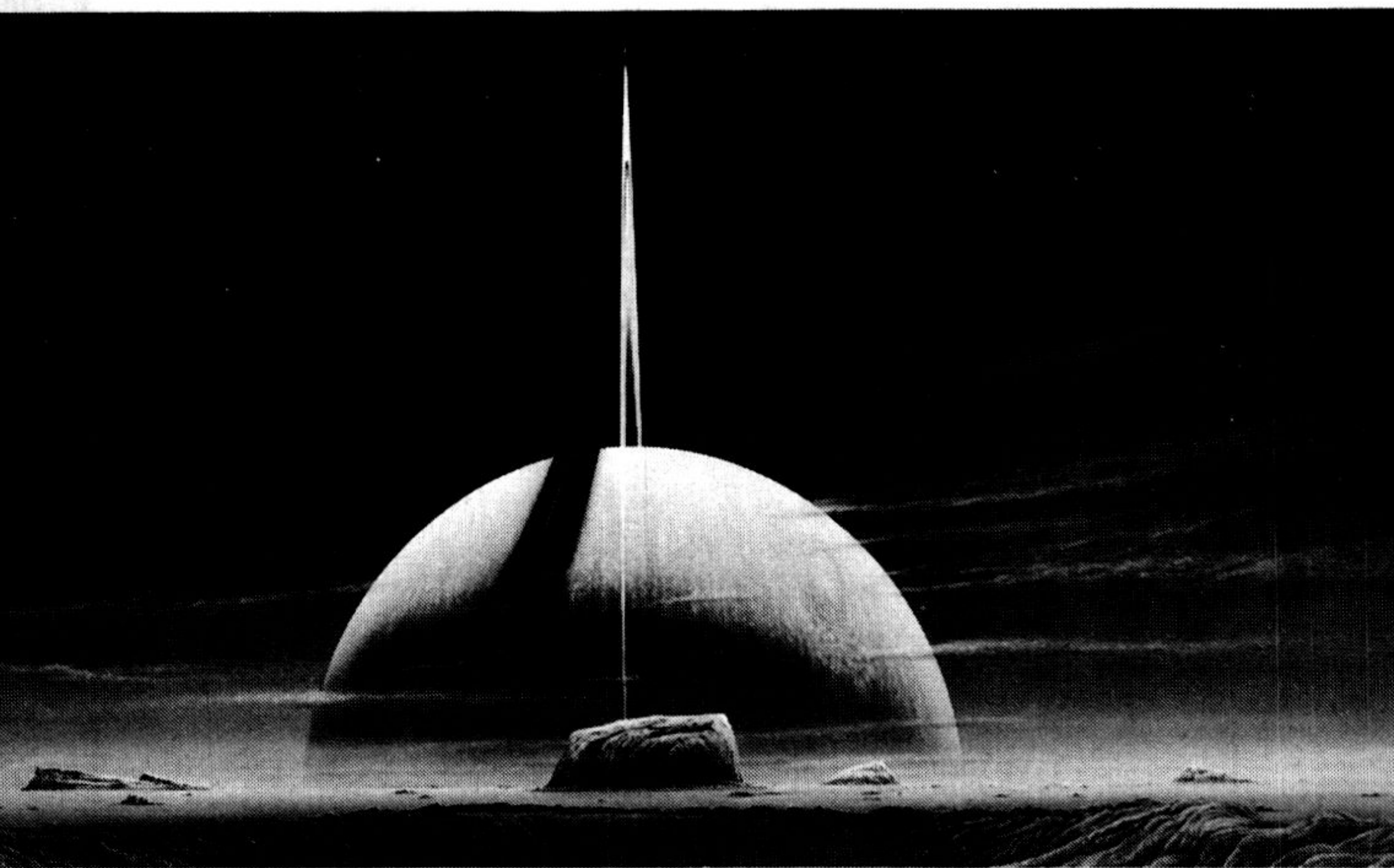
ヌスは、ソドムの滅亡の際に振り返って塩の柱になったロトの妻について、「救われたい者は、離れようとしている場所を望んではならない」といったが、彼らは、地球を完全に忘れてしまうことはないだろう。

しかし、私たちはまだ準備ができていない、と考える人もいるだろう。ヴォルテールが『メムノン』で書いたように、「私たちの小さな地球は、一〇〇〇億個(*2)という天体のなかでも大混乱の場」なのだ。私たち人間は、自分たちの故郷である惑星すらきちんとすることができず、競争心と憎悪で分裂し、自分たちの環境を略奪し、殺意どころか怒りやささいなことから互いに殺し合い、さらには、ほんの最近まで宇宙は自分たちのためだけにつくられたのだと信じていた。そんな私たちが、宇宙に乗り出し、天体を動かし、惑星をつくり変え、さらに別の恒星へと広がっていくというのだろうか。

私は、そうなったときの私たちは、正確には、現在の習慣と社会通念を持った「私たち」ではないと思う。私たちがこのまま、力のみを増大させ、知恵を獲得しないなら、私たちは必ず、自分たち自身を滅ぼしてしまうだろう。こうした遠い将来に私たちが存在するからには、制度や私たち自身が変わっていなければならないはずだ。そんな遠い未来の人類がどうなっているか、果たして推測できるだろうか。つまりは、自然淘汰であると、私は思う。もし、私たちが現在よりわずかでも暴力的、近視眼的、無知、そして利己的になれば、ほぼ間違いなく、人類に未来はない。

もし、あなたが若ければ、あなたが生きているあいだに、地球近傍小惑星と火星に人類が最初の一歩を記すことも可能だ。木星型惑星の衛星や、彗星のカイパー・ベルトにまで足を延ばすには、さらに多くの世代を重ねる必要がありそうだ。オールトの雲はもっと時間がかかる。一番近いほかの惑星系に移住するころまでには、私たちは変わっているはずだ。多くの世代を経るだけでも私たちは変わっているだろうし、私たちが暮らすことになる新たな環境も私たちを変えているはずだ。人工臓器や遺伝子工学も私たちを変えているだろう。必要が私たちを変える。私たちは適応する種なのだ。

ケンタウルス座アルファ星やそのほかの近くにある別の恒星に到達するのは、もはや「私たち」ではない。それは私たちによく似ているけれども、私たちの長所をより多く、短所をより少なく受け継ぎ、そして、進化がもともとめざしてきた以上の、より自信に満ち、先を見通し、有能で勤勉な種だ。つまり、私たちよりずっと賢くてはるかに力があり、私たちとはまったく異なる種でいっぱいのこの宇宙で、私たちを代表してほしいと思うような種類の人たちである。

恒星と恒星のあいだの膨大な距離は、幸いというべきである。生き物や天体は互いに隔離されていて、星から星へと安全に航行できるだけの自己認識と判断力を備えた者のみがその隔離を解かれるのである。

地球によく似た、人類にとって居住可能な天体。太陽に近い恒星を回る木星のような惑星の衛星である。（岩崎賀都彰による想像図）

数億年、数十億年という、とてつもない時間で考えれば、銀河の中心は爆発する。遠い宇宙を見渡すと、活動する中心核を持った銀河、クエーサー、衝突で歪んだり渦巻き状の腕をもぎ取られた銀河、放射で噴き飛ばされたりブラックホールに飲み込まれた恒星などが、そこここに見られる。そして、私たちは、こうした長い時間で考えれば、星間空間ですら、銀河ですら、必ずしも安全ではないことを知るのだ。

銀河系の周りには、暗黒物質でできたハローがある。それは、アンドロメダ座にあって、やはり何千億個という恒星が集まっている隣の渦巻き銀河、M31までの距離のほぼ半分のあたりまで広がっている。この暗黒物質とはいったい何か、どう分布しているのか、まだ分かっていない。その一部(*3)は、個々の恒星との結びつきがない天体であるかもしれない。もしそうなら、はるか未来の私たちの子孫は、気の遠くなるような時間がたったあとに、銀河間宇宙に住みつき、ほかの銀河へと渡り歩くようになるかもしれない。

しかし、銀河系の各地に住みつくとしたら、それがはるか先のことでないとしても、私たちはこう問わなければならない。安住の地を求めて、私たちを外へと駆り立てる願望は、果たしてどれだけ不変なのだろうか。いつの日か、私たちはこれまで種が継続してきた時間と成功とに満足して、喜んでこの宇宙の舞台から消えていこうとするのではないか。いまから何百万年ののち、おそらくはもっと早くに、私たちは何か別物になってしまっているかもしれない。ほかの哺乳類の例から判断すれば、たとえ私たちが意図的に何かをしなくても、突

然変異や淘汰など自然の過程によって、それだけの時間がたつころには、人類は絶滅するか、別の種に進化するかしているはずだ。また、たとえ光速に近い速度で移動ができ、移動することだけに集中したとしても、哺乳類には避けられない種の寿命のあいだに、この銀河系のごく代表的な部分だけでも開拓するなどということは不可能だと、私は思う。銀河系だけでも、その対象はあまりに多い。その向こうには、さらに一〇〇〇億個もの銀河がある。私たちを現在駆りたてている力は、宇宙論的な時間からはきわめて短いが、私たち自身が変化してきた地質学的な長い時間のなかでも、変わらずにいるだろうか。そうした長い時間のうちには、無数にある天体に移住するだけではない、もっと壮大でもっとやりがいのある野望のはけ口を見つけるかもしれない。

何人かの科学者が想像するように、私たちはおそらくいつの日か、新しい生命体をつくり出し、精神を連携させ、星に植民し、銀河を改造し、あるいは、近くの空間で宇宙の膨張を阻止するといったことができるようになるだろう。「核物理学」誌に掲載された一九九三年の論文で、物理学者のアンドレイ・リンデは、おそらく遊び心から、こう述べている。独立し、閉じた、膨張する宇宙を実験室でつくり出すのは、究極的には可能になるかもしれないと。もちろん、それはかなりの実験室でなければならないが。「しかしながら、これが単なる冗談なのか、何か別物なのか、私自身にも分からないのです」と、彼は私への手紙に書いてきた。こうした遠い将来に向けたさまざまな計画を見ると、そこには、かつては神のもの

と見なされた力を横取りしたい、あるいは、もっと魅力的なたとえを使えば、天地創造を成し遂げたいという、人間の変わらぬ欲望が、はっきりと認められる。

これまで何ページにもわたって、筋の通った推論の域を出て、かなり自由気ままな考察にすっかり酔ってしまったようだ。そろそろ、私たち自身の時代に戻らなければなるまい。

私の祖父は、電波が実験室で興味の対象になる時代より前に生まれ、最初の人工衛星が宇宙から地上に信号を送るころまで生きた。飛行機などといったものがない時代に生まれ、老年期には、四機の探査機が太陽系の外をめざして打ち上げられるのを見た人もいる。私たちにはさまざまな欠点があり、限界もあるし、誤りを犯しやすいが、それでもなお、私たち人間には、偉大なことを成し遂げる可能性がある。このことは、私たちの科学、技術の一部の分野、美術や音楽、文学、利他主義、同情心、そして、ごくまれには政治についてもいえる。私たちの時代には夢にも思わなかったような、どんな新しい驚異を、次の世代は見ることになるのだろう。さらに、その次の世代は？ 来世紀の末までには、私たち、さすらいの生物種は、どのあたりまでさすらっているだろうか。一〇〇〇年後には、どうだろうか。

二〇億年前、私たちの先祖は微生物だった。五億年前は魚、一億年前はネズミのようなもの、一〇〇〇万年前は樹上生活をするサル、そして一〇〇万年前は、どうにか火を手なずけた原人だった。私たちの進化の筋道は、たくみな変化によって特徴づけられている。私たち

の時代には、進化の速度はさらに速まりつつある。

私たちがはじめて、地球近傍小惑星への探検を試みれば、それは、私たちの種の永続性を保証してくれる居住地に入ったことになるだろう。火星への最初の有人飛行は、私たちが多くの惑星に住む種へと変わっていく重要な一歩になるだろう。こうした出来事は、私たちの両生類の先祖が陸地に移住したり、霊長類の先祖が木から下り立ったのと同じくらい重要だ。

肺が未発達で、歩行にわずかだけ適応したヒレを持った魚は、陸地に永続的な足掛かりを築き上げる前に、その大部分が死んでしまったに違いない。森が徐々に後退するにつれ、直立したサルのような私たちの先祖は、サバンナを闊歩する肉食動物から逃れて、しばしば森のなかに駆け戻った。そうしたすみかの移動は、苦しみを伴い、何百万年という時間を要したが、その当事者はほとんど気づかないほどわずかな変化だったに違いない。私たちの場合には、そのような移動はわずか二、三世代の間に起こり、わずかな犠牲しか出なかった。しかし、その速度はあまりに速く、いったい何が起きているのか、私たちにはほとんど理解できないほどだ。

地球の外ではじめて子どもが生まれたら、小惑星や彗星、衛星、ほかの惑星などにいったん基地や入植地を築いたら、あるいは地上を離れて新しい世代をほかの天体で育て始めたら、人類の歴史で何かが永遠に変わることになるだろう。しかし、ほかの天体に住むことは、地球を放棄することではない。両生類の進化によって、魚が消えてしまったのではないのと同

じことだ。長い期間にわたって、ごくわずかな人間が宇宙に出るに過ぎないだろう。

古典学者のチャールズ・リンドホルムはこう書いている。

近代西欧社会では、伝統の風化や容認されてきた宗教的信条の崩壊は、私たちから生きる目的、すなわち人の潜在能力という神聖化された概念を奪い去る。神聖なる目的を奪われ、私たちはひ弱で誤りを犯しやすい、もはや神のようにはなれない人間という、神秘性を失った像しか持てなくなる。

私たちのひ弱さ、そして誤りやすさを、胸にしっかり刻むことは、健全で、実際に重要なことだと思う。神のようになろうとする人々のことは大変心配だ。しかし、長期的な目標にして神聖な計画は、一つある。私たちの種の生存が、それにかかっている。私たちが自己という牢獄にしっかりとつながれてきたとしても、ここに脱出口がある。意味のある何か、私たち自身よりはるかに大きい何か、人類全体のためにきわめて重要な行為だ。ほかの天体に住みつくことは、国々や民族集団を統一し、世代をつなぎ、私たちが賢明で思慮深いことを必要とする。それは、私たちの本性を解放し、部分的に私たちを私たちのそもそもの始まりに立ち返らせる。いまですら、この新しい目的は、手の届くところにあるのだ。

心理学者の草分けであるウィリアム・ジェームズは、宗教を、「宇宙のなかにあって家で

くつろいでいるような感覚」だといった。この本のはじめのほうの章で書いたように、私たちには、家庭的という概念を変えてそこに宇宙をも包含させようというより、宇宙は、そうあってほしいと私たちが願う家庭と同じものであると見なす傾向がある。ジェームズの定義のなかの宇宙が現実の宇宙を意味するなら、私たちはまだ本当の宗教を持っていないことになる。「大降格」の痛みが遠くに去るのは、そして、私たちがほかの天体での生活に慣れ、ほかの天体も私たちに慣れるのは、また、私たちがほかの恒星へと向かって広がっていくのは、まだ、すこし先のことだ。

実際上は、私たちの宇宙は永遠に広がっていく。短い定住期間ののち、私たちはかつての放浪生活を取り戻しつつある。太陽系のなかの多くの天体やそれを超えて広がった私たちのはるか未来の子孫は、共通の遺産と、彼らの故郷たる惑星への敬意、そして、ほかの生命体がどうであろうと、広い宇宙で人間だけが地球から来たのだという認識によって、一つにまとまるだろう。

彼らは空を見上げ、目をこらして、青い点を見つけるだろう。それがかすかで壊れやすいからといって、彼らがそれを愛する思いに変わりはない。私たちのすべての可能性の宝庫である地球がかつてどれほど壊れやすいものであったか、私たちが幼少期にどれほど冒険的であったか、また、始まりはどれほど謙虚であったか、そして、私たちが自分たちの道を見つけるのにどれほど多くの川を渡らなければならなかったかを知って、彼らはきっと、驚くに

違いない。

（＊1）たとえ、それほど急がなくても、私たちはそのころまでには、現在宇宙船を動かしているのより速く、小天体を動かすことができるようになっているだろう。もしそうなら、私たちの子孫は、はるか昔の二〇世紀に打ち上げられた二機のボイジャー探査機がオールトの雲を抜けて星間空間へと出てしまう前に追いつくだろう。そしておそらく、はるか昔に見捨てられた探査機を回収するだろう。あるいは、そのまま飛行を続けさせるかもしれない。

（＊2）この数値は、銀河系の恒星の周りを回っている惑星の数に関する最近の推定とよく一致している。

（＊3）ほとんどは、私たちにはおなじみの陽子や中性子からできておらず、反物質でもない「非バリオン」物質であるようだ。宇宙の質量の九〇パーセント以上は、地球上ではまったく知られていない、この暗黒の、まったく謎に包まれた物質だと考えられている。私たちはいつの日か、それを理解するだけでなく、その使い道も発見するに違いない。

謝辞

本書は大半が書き下ろしであるが、米国の多くの新聞の日曜版付録である「パレード」誌に、すでに掲載された章もいくつかある。同誌はおよそ八〇〇〇万の人に読まれている、おそらく世界最大の読者数を誇る雑誌であろう。ここに発表した文章については、編集長のウォルター・アンダーソンと副編集長のデイビッド・カリアーの励ましと編集の才に負うところが大きい。また、「パレード」誌の読者にも感謝する。読者からの手紙は、どこが分かりやすく、どこが分かりにくいのか、私の考えがどのように受け取られているのか、を教えてくれた。*Issues in Science and Technology, Discover, The Planetary Report, Scientific American, Popular Mechanics* の各誌に発表したものを基にした章もある。

また本書は、多くの友人や同僚たちとの議論の上に成り立っている。彼らの意見によって、本書の内容は大幅に改良された。あまりにもたくさんいるので一人一人名前を挙げることはできないが、彼らすべてに深く感謝を表したい。とくにつぎの方々は、草稿の一部あるいは全体に目を通し、貴重な意見を寄せてくれた。

ノーマン・オーガスティン、ロジャー・ボネ、フリーマン・ダイソン、ルイス・フリードマン、エベレット・ギブソン、ダニエル・ゴールディン、J・リチャード・ゴット三世、アンドレイ・リンデ、ジョン・ロンバーグ、デイビッド・モリソン、ロアルド・サグデーエフ、スティーブン・ソーター、キップ・ソーン、フレドリック・ターナー。

セス・カウフマン、ピーター・トマス、ジョシュア・グリンスプーンには、図表を作製してもらった。本文中の図版ページに名前を挙げた画家のみなさんには、作品の掲載を認めていただいた。キャシー・ホイト、アル・マキューアン、ラリー・ソダーブロムの好意で、米国地質調査所天体地質部門が作製したモザイク写真や地図を掲載することができた。

アンドレア・バーネット、ローレル・パーカー、ジェニファー・ブランド、ローレン・ムーニー、カレン・ゴブレヒト、デボラ・パールスタイン、故エリナー・ヨーク、ハリー・エバンズ、ウォルター・ワインツ、アン・ゴドフ、キャシー・ローゼンブルーム、アンディ・カーペンター、マーサ・シュワルツ、アラン・マクロバート。以上は、本書の製作にかかわった方々である。デザインはベス・トンドローが担当した。

宇宙開発政策については、惑星協会理事会のほかのメンバー、とくにブルース・マレー、ルイス・フリードマン、ノーマン・オーガスティン、ジョー・ライアン、故トマス・O・ペインとの議論が役立った。同協会は、太陽系の開発、地球外生命の探索、国際協力に基づく他天体への探査に力を入れており、この理念は本書の考え方の基本にもなっている。非営利

目的の、宇宙に関心を持つ世界最大の団体である同協会について、さらに情報を得たい方は、つぎにご連絡いただきたい。

THE PLANETARY SOCIETY
65 N. Catalina Avenue
Pasadena, CA 91106
Tel. 1-800-9967537

一九七七年以降の私のすべての著作と同様に、アン・ドルーヤンからは本書の内容と表現の両方について、鋭い批判と基本的な助力を得た。広大な宇宙と無限の時間のなかで、妻アニーといま、この惑星に住むことは私の無上の喜びである。

カール・セーガン

カラー図版説明

1　月面でポーズをとるアポロの宇宙飛行士。写真を撮っている宇宙飛行士が彼のマスクに映っている。月面車は左にあるクレーターの向こう側に止まっている。手前に見える小さなクレーターのあいだに、宇宙飛行士の足跡が記されている。写っているのは、アポロ16号のチャールズ・デューク飛行士。（NASA提供）

2　火星探査機バイキングが撮影したマリネリス大峡谷。マリナー9号によって発見された長さ五〇〇〇キロメートルに及ぶ大地溝で、深さは数キロメートルもある。谷底は巨大な雪崩によって絶壁から崩れ落ちた破片で埋まっている。（USGS／NASA提供）

3　一九九四年七月一六〜二二日に木星に衝突したシューメーカー・レビー第9彗星。

上　ハッブル宇宙望遠鏡が捕らえた、シューメーカー・レビー第9彗星の破片の群れ。ちりの雲に囲まれている。（宇宙望遠鏡科学研究所、NASAのH・A・ウィーバーとT・E・スミス提供）

中　七月一八日、シューメーカー・レビー第9彗星の最大破片G核の衝突。きのこ雲とそ

れを取り巻く高温ガスの輪が、赤外線による疑似カラー写真で淡青色に見える。（サイディング・スプリングのオーストラリア国立大学望遠鏡のピーター・マクレガー、マーク・アレン提供）

下　木星の雲の表面に黒い目玉のように見えるのは、G核による衝突痕。大きな濃いリングはほぼ地球と同じ大きさがあり、外側に重力波が音速で広がっている。すぐ左上の小さな黒い点はD核の衝突によるもの。この写真は、大きさ数キロメートルの彗星や小惑星の衝突によって、惑星表面に地球なみの大きさのクレーターができることを教えてくれる。ハッブル宇宙望遠鏡による。（ハイジ・ハンメル、MIT、NASA提供）

4

火星の北極冠。上二点は、バイキング撮影。左の写真を拡大すると、右の写真のようになる。火星の北極冠に閉じ込められた二酸化炭素の量は、原始火星の大気密度から考えると足りない。おそらく火星の土のなかに豊富な炭酸塩が含まれているのだろう。しかし、北極冠と火星の土のなかの二酸化炭素と、火星上で生産できるほかの気体を使って、火星の環境を地球のように変えるのに十分な温室効果をつくりだすことは可能だと思われる。（USGS／NASA提供）

下は北極冠の段丘。内部の層はちりと水からなり、火星の過去の気候変動の歴史について重要な情報を保っている可能性がある。ロン・ミラーによる想像図。

5

月面でテストされる無人火星車。（NASA、パット・ローリングスの想像図／SAIC提

供）

6　電波望遠鏡が夜の空を探索する。電波で見るのと可視光線で見るのとずいぶん違った姿に見える。「星たち」の多くは星とはまったく違って、数十億光年も遠くにある明るい電波銀河やクエーサーたちである。そうした電波源や私たち自身の技術文明の電波ノイズの海のなかで、宇宙におけるほかの文明の証拠を、私たちは暗黒のなかから見つけることができるだろうか。（米国国立電波天文台提供）

7　火星の衛星フォボスから地球化の途上にある火星を見る。マリネリス峡谷は液体の水で満たされている。夜側の半球には街の明かりが見える。デイビッド・A・ハーディによる想像図。

8　何世代にもわたる旅の果てに、「小惑星宇宙船」の住民たちが、遠くの恒星を回る地球に似た惑星に到着する。デイビッド・A・ハーディによる想像図。

太陽系探査年表（主な成果の最初のもの）

	1950年代	
ソ連／ロシア	57年 地球を回る最初の人工衛星（スプートニク1号） 動物がはじめて宇宙を飛ぶ（スプートニク2号、ライカ犬） 59年 地球重力から脱出した最初の探査機（ルナ1号） 太陽を回る最初の人工惑星（ルナ1号） 他天体に衝突した最初の探査機（ルナ2号が月に） 月の裏側をはじめて観測（ルナ3号）	61年 はじめての有人宇宙飛行（ウォストーク1号でガガーリン） はじめての有人地球周回飛行
米国	58年 宇宙における最初の科学的発見（エクスプローラー1号がバン・アレン帯を飛ぶ） 59年 宇宙から見たはじめての地球像（エクスプローラー6号）	62年 惑星間空間で最初の科学的発見（マリナー2号が太陽風を） はじめて惑星観測に成功

1960年代	1970年代
（ウォストーク1号） 他惑星にはじめて接近した探査機 （ベネーラ1号が金星に） 62年　はじめて火星に接近（マルス1号） 63年　宇宙を飛んだ最初の女性飛行士 （ウォストーク6号でテレシコワ） 64年　複数の飛行士による最初の宇宙飛行 （ウォスホート1号） 65年　最初の宇宙遊泳 （ウォスホート2号でレオーノフ） 66年　他天体にはじめて軟着陸成功 （ルナ9号が月に） 他天体を周回した最初の探査機 （ルナ10号が月を）	70年　他天体から地球にはじめての無人試料回収（ルナ16号が月から） 無人自動車がはじめて他天体を走る （ルナ17号が月で） 71年　他惑星にはじめて軟着陸成功 （マルス3号が火星に） 72年　他惑星に軟着陸、初の観測成功
（マリナー2号が金星を） 最初の天文観測衛星 （OSO1号が太陽を） 68年　他天体をはじめて有人周回飛行 （アポロ8号が月を） 69年　他天体にはじめて有人着陸 （アポロ11号が月に） 他天体から地球に最初の試料回収 （アポロ11号が月から）	71年　有人自動車がはじめて他天体を走る （アポロ15号が月で） 他惑星を周回した最初の探査機 （マリナー9号が火星を） 73年　はじめて木星に接近（パイオニア10号） 太陽系脱出速度を得た最初の探査機

1970年代	1980年代
（ベネーラ8号が金星で）	83年 他惑星をはじめて地図作製用にレーダー観測（ベネーラ15号が金星で） 85年 他惑星ではじめての気球観測（ベガ1号が金星で） 86年 はじめて彗星に接近（ベガ1号がハレー彗星に） 88年 最初の恒久的宇宙ステーション（ミール） 88年 はじめて宇宙滞在一年を達成（チトフ、マナロフ）
（パイオニア10号） 74年 はじめて水星に接近（マリナー10号） 複数の惑星を観測した最初の探査機（マリナー10号が金星と水星を） 76年 火星着陸に成功し、はじめて他惑星で生命をさがす（バイキング1号） 77年 はじめて土星に接近（パイオニア10号）	81年 最初の再使用可能な宇宙船（スペースシャトル・コロンビア） 84年 はじめて人工衛星の回収・修理・再放出に成功（スペースシャトル・チャレンジャーがSMM衛星を） 85年 最初の彗星観測（ICE探査機がジャコビニ・ツィンナー彗星を） 86年 はじめて天王星に接近（ボイジャー2号） 89年 はじめて海王星に接近（ボイジャー2号）

1990年代
92年 はじめてヘリオポーズを観測 (ボイジャー1、2号) 小惑星帯の小惑星にはじめて接近 (ガリレオ探査機がガスプラに) 94年 小惑星の衛星を発見 (ガリレオ探査機がイーダに)

訳者あとがき

本書は、カール・セーガン博士の最新の著書である。

セーガン博士は惑星天文学者であるが、同時に一九五〇年代からＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）の顧問あるいは助言者として、米国の宇宙開発の初期から指導的役割を果たしてきた。太陽系の各惑星へと飛んだマリナー、バイキング、ボイジャー、ガリレオといった探査機打ち上げでは、各種の実験を計画し、月に着陸したアポロの宇宙飛行士たちにとっては「教師」でもあった。また、「核の冬」の研究でも知られ、地球外知的生命からの電波を探索しようという提唱者としても有名である。

本書は、私たち人類の住む地球が、科学の発展とともに宇宙の中心から次第に宇宙の片隅へと追いやられていくという宇宙観の変遷から説き起こし、観測や惑星探査機が明らかにした太陽系の各天体の環境について語る。次いで、再び地球外への宇宙飛行の必要性を力説し、惑星改造、他天体への移住へと筆を進める。最後は、太陽系外からの声に耳をかたむけ、銀河系内へ進出することを呼びかける。簡単にこう書いただけでも、本書がセーガン博士の、

もっとも得意とする分野を題材としていることがお分かりだろう。世界的なベストセラーとなった博士の著書『ＣＯＳＭＯＳ』は、太陽系にとどまらず、恒星の世界から広く銀河、宇宙の果てまで俯瞰し、ひるがえって地球の生物進化にまで説き及ぶという、いわば大宇宙叙事詩であった。本書は、その後一五年間の太陽系探査の成果を基に、私たちの次なるすみかを求めるフロンティア・スピリット喚起の書といったら、言い過ぎであろうか。

本書が最新のデータに基づいていることから、原著出版後、本訳書が出るまでに起こった新しい出来事を、ここで付け加えておくべきだろう。

まず、第16章で提案している、ロシアの宇宙ステーション「ミール」への米国人宇宙飛行士搭乗は一九九五年三月に実現した。ソユーズ宇宙船で二人のロシア人宇宙飛行士とともに打ち上げられた米国のサガード宇宙飛行士は、「ミール」に乗り移って一一五日間宇宙に滞在した。これは米国の宇宙飛行士としては最長滞在記録である。この飛行には、さらに大きな付録があった。米国人五人、ロシア人二人が乗ったスペースシャトル・アトランティスが同年六月二九日にミールにドッキングした。一九七五年のアポロ・ソユーズのドッキング以来二〇年ぶりの出来事であった。ミールのサガード飛行士たちは、アトランティスに乗ってきたロシア人飛行士と交代してアトランティスに乗り移り、地上に帰還した。そう遠くないうちに、米国人宇宙飛行士がミールでロシア人宇宙飛行士とともに一年以上の長期滞在を記録することになるかもしれない。また、第20章に登場するホロビッツのＢＥＴＡ（一〇億チ

ャンネル地球外分析）は、一九九五年一〇月三〇日、ハーバード大学の直径二六メートルの電波望遠鏡が稼働を始めた。さらに、第22章に出てくる「褐色矮星」は一九九五年一一月、ハッブル宇宙望遠鏡とパロマ山天文台によって発見された。なお、本書のあちこちに顔を出すガリレオ探査機だが、一九八九年一〇月に打ち上げられてから金星や地球に接近して加速してもらうという複雑な軌道を飛んだ末、一九九五年一二月七日、やっと最終目的の木星にたどり着き、木星を回る人工衛星となった。同じ日、ガリレオから放出された小型観測機が木星大気に突入した結果、秒速一五〇メートルの強風が吹き荒れ、水はほとんどないことが明らかになったと発表されている。

本書の原題は PALE BLUE DOT である。お読みになればお分かりのように、この言葉は、探査機ボイジャーが太陽系の端で振り返って見たときの「暗い青い点」、つまり地球を意味している。非常に象徴的な、まさに本書の内容を、セーガン博士の言いたいことを表わす、素晴らしいタイトルだと思う。しかし、日本語で「暗い青い点」といったとき、セーガン博士がこの言葉に込めた意味合いがどれだけ読者に伝えられるか、私たちには疑問に思われた。本書の内容を十分に伝えているとはいえない不安があるものの、邦題を『惑星へ』としたのは、そのような理由からである。

朝日新聞社がセーガン博士の著書を翻訳、出版するのは、一九八〇年の『ＣＯＳＭＯＳ』、一九九四年の『はるかな記憶』に次いで、本書が三冊目である。翻訳には、前二書と同様に朝日

新聞社の科学記者が当たった。辻篤子、五十嵐道子、瀬川茂子、岡明人、森暁雄の五人が分担して翻訳し、最終的に森が訳語、訳文の統一をはかった。『エデンの恐竜』でピュリツァー賞を受賞しているセーガン博士の文章は、広く深い教養に裏付けられた名文といえよう。この文章をどこまで訳出できたか、はなはだ心もとない。読者のご教示、ご批判をいただけたら幸いである。

翻訳に際して、吉本晋一郎さんには貴重な助言をいただき、畠堀操八さん、坂田敏文さん、井上誠さんには適切な校正をしていただいた。また、本文中の図版はヨシザワスタジオに作製していただいた。最後に、朝日新聞社出版局科学図書編集部のお陰で、本書がこうして出版されるに至ったことを付記しておきたい。

一九九六年一月

森　暁　雄

解説

松井孝典

一九九七年七月四日、マーズ・パスファインダーが火星に軟着陸した。ヴァイキング探査以来二一年振りのことである。着陸後一カ月で着陸船から九六六九枚、ローバー（地表移動車）から三八四枚の画像、四〇〇万にも達する気温、気圧、風速データ、そして一〇個の岩石及び土壌の化学組成分析データが送られてきた。その結果火星は今まで考えられていたよりずっと地球に似た惑星であることが明らかになりつつある。

この火星地表観測基地は「カール・セーガン記念基地（メモリアルステーション）」と命名されている。惑星探査に生涯の情熱をかけ、一九九六年一二月二〇日惜しくもその生涯を閉じた故カール・セーガン博士を追悼してのことである。ロシアからの移民洋服職人の子として一九三四年一一月九日、ニューヨークのブルックリンに生れたカールは、シカゴ大学に入学し二〇歳で卒業する。その後そのまま大学院に進学し、当時のアメリカ学界で唯一人ともいえる惑星科学者であった

ジェラルド・カイパーの指導の下に博士号を取得した。

本書でも土星の月タイタンに一章がさかれているが、その中でカールは次のように述べている。「私はタイタンと共に成長したといえるかもしれない。私はシカゴ大学でジェラルド・P・カイパーの指導の下、博士論文を書いた。カイパーはタイタンが大気を持つことの決定的な証拠を最初にとらえたオランダの天文学者で、クリスティアン・ホイヘンスの直系の弟子の一人である。」なおタイタンは一六五五年ホイヘンスにより発見されタイタンと命名されている。

一九九七年一〇月、NASAとESAの共同によりカッシーニという土星探査機が打ち上げられ、現在土星へ向け飛行中であるが、その中にはホイヘンスと呼ばれる小型探査機も搭載されている。カッシーニは金星に二回、地球と木星に一回ずつ接近し、それらの重力により加速され、二〇〇四年土星の周回軌道に入る。タイタンに接近するとホイヘンスは親探査機から切り離され、タイタンの大気へ突入する。タイタンの上空をおおうもやの成分が分析され、それがカールとその共同研究者により実験室で合成され、「ソリン」と名付けられた有機物と一致するかどうか、それはあと七年待たなければならない。

シカゴ大学で博士号を得たカールはカリフォルニア大学バークレー校、スタンフォード大学でポスドクを送り、ハーバード大学を経て一九六八年コーネル大学準教授となる。一九七一年に教授に昇進し、以来コーネル大学の天文学教室の重鎮として学生を指導し、NASA

の惑星計画にも深く関わる。彼はすぐれた惑星科学者であるが、余人と違う点は生命の起源、あるいは地球外生命に関わるテーマにも積極的に関わったことである。というか二〇歳代は、有名なミラー－ユーレーの原始地球大気における生命材料物質合成実験的な研究を行っている。それはまさに彼が当時在籍したシカゴ大学がそのメッカともいえる場所であったということもあるだろう。惑星と生命、あるいは宇宙と生命、そしてそれが更に発展し、宇宙と生命と文明というのが彼の生涯を通じて追求した研究テーマといえる。

本書は一九七〇年代から八〇年代にかけての惑星探査の結果をもとに、太陽系天体の現状とその歴史を紹介したものである。それはちょうど第一期の惑星探査が終り、第二期の惑星探査が始まった一九九〇年代の前半に書かれたもので、その頃の太陽系天体についての我々の知識を集約したものである。第一期の惑星探査とは主として、巨大ガス惑星についてはフライバイによる探査、地球型惑星については周回衛星による探査を行った段階に相当する。この段階の探査はそれぞれの天体について、どんな天体なのかおおざっぱにその概略を知るというのが目的であった。

これに対し第二期の探査は、巨大ガス惑星については周回軌道からの子探査機の大気圏突入など含めたより詳細な探査が、地球型惑星についてはテーマを絞り込んだより専門的な探査が行われる。具体的には例えば、現在木星の周回軌道から探査を続けているガリレオによる探査であり、土星に向けて飛行しているカッシーニであり、火星についてはマーズ・パス

ファインダー、マーズ・グローバルサーベイヤーに始まる一連の火星探査であり、既に終了したがマジェランによる金星探査である。

本書ではそれらの新たな探査に向けて我々がそれぞれの太陽系天体をどのように理解しているか、更にその理解を深めるにはどのような探査を行えばよいのか、カールの豊富な知識をもとに要領よく紹介されている。しかし、本書が類書と異なるのは、何故人類がそのような探査を行うのか、あるいは行うべきなのか、その文明論的、哲学的議論がそれ以上によく整理され、展開されている点にある。前者を縦糸に、後者を横糸に、例えれば、その糸を使って織られた、宇宙と生命と文明の織り物ということになるかもしれない。

本書の原題は「ペール・ブルー・ドット」である。これは一九九〇年二月初め、五九億キロメートルの彼方を時速六万四千キロメートルのスピードで太陽系から遠ざかりつつあったボイジャー一号が、振り向いて撮影した地球の影像を表現したものである。そんな遠くから見れば地球も金星も、木星も土星も淡い光の点にしか見えない。点にしか見えない地球も、その上に住んでいれば広大で、一般の人には無限の拡がりをもつ星と思えなくもない。この視点の違いをよく考えると、環境問題や資源・エネルギー問題、人口問題、食糧問題をかかえる人類が何をなすべきか、その先が見えるのではないか。民族や国家などの対立が如何に無意味なものか、改めて論じる必要がないくらい明白ではないか、とカールは説く。

あるいはもっと具体的に、例えば二酸化炭素の増加による地球温暖化や特定フロンによる

オゾン層破壊などの知見は、じつは、金星の大気の研究を通じて得られたことを指摘する。また、冷戦時に核戦争の脅威を示すものとして提出された核の冬のアイデアが、火星の大気中に漂うちりの研究から得られたことを紹介する。いずれもカールが関わった研究である。地球の現在の地表環境はそれが昔から続いてきたわけではないし、今後どのように変化するかもわからない。我々はたまたま地球の上にいて、現在のような限定された状況下で、ものごとを見たり、判断したりしているにすぎない。しかしその見方を固定的なもの（それが例えば人間中心主義）としたら如何にあやういものなのか、太陽系天体の多様な環境を紹介することでカールは人間を相対化して見る視点を示唆する。

人間中心主義とは、私もよく用いる言葉である。要するに我々の知識が、人間と社会に関するものでほとんど占められ、議論がそのなかで閉じてしまうことを意味する。現在我々は地球システムのなかに、人間圏という構成要素をつくって生きている。我々はまずこのことを理解することが必要である。地球システムという見方は、宇宙から地球を惑星のひとつとして見ることから生まれた考え方である。すると、大気も海も大陸も生命も人間も、あらゆる地球構成物質が互いに依存しあって存在していることがわかる。すなわち、これが人類を相対化して見るということである。人類がその存在をそのように認識しない限り、現在直面する問題の本質は見えてこない。

地球システムに人間圏という構成要素が加わったのは約一万年前のことである。その頃

我々は農耕牧畜を始めた。それを、それ以前の、狩猟採集という生き方と比べてみれば違いがわかる。狩猟採集とは他の動物もしている生き方である。それは人類もまたその種のひとつとして存在した生物圏内部の、モノやエネルギーの流れを利用する生き方である。それに対し農耕牧畜とは、生物圏から飛び出し、地球システムのモノやエネルギーの流れを利用する生き方である。地球システムと直接関わるということは、そこに構成要素のひとつとして存在することを意味する。環境問題も資源・エネルギー問題も食糧問題も、地球システムのモノやエネルギーの流れを、そこにバイパスさせることで成立している人間圏が、その境界条件に抵触するほど大きくなりすぎた結果生じたものといえる。

地球は宇宙から見れば淡い光の点にしか見えない。その点のなかで大気も海も大陸も生物も人類も、全てが依存しあって存在している。それを人類が認識した時世界観は大きく変わる。カールはそれを信じ、従って人類が宇宙に挑戦することの意義を説き、その結果を啓蒙することに熱心だった。カール・セーガンは一流の科学者でありながら、上のような意味で大衆的でありすぎたために、自由の国アメリカといえども、科学アカデミーの会員に選ばれることはなかった。しかし科学が科学者のものでなく大衆のものであることは現代においてますます自明になりつつあり、その意味ではカール・セーガンは、現代を代表する稀有の科学者といえよう。

（まつい・たかふみ　東京大学大学院理学系研究科助教授）

289

惑星へ（上）目次

【著者略歴】
カール・セーガン　CARL SAGAN
一九三四年～九六年。元コーネル大学教授、同大学惑星研究所長。マリナー、バイキング、ボイジャーなどNASAの惑星探査計画で指導的な役割を果たした。著書に『宇宙との連帯』（河出書房新社）、『エデンの恐竜』（ピュリツァー賞受賞　秀潤社）、『COSMOS』（朝日文庫）、『サイエンス・アドベンチャー』（新潮社）、『はるかな記憶』（アン・ドルーヤンとの共著　朝日文庫）などがある。

【訳者略歴】
森暁雄（もり・あけお）
一九三七年生まれ。東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学分科卒業。「科学朝日」編集長、科学部長、調査研究室主任研究員などを経て、現在朝日新聞社友。訳書にコールダー『爆発する宇宙』（小尾信彌との共訳　朝日新聞社）、ラーナー『望遠鏡の歴史』（同上　朝倉書店）、ライトマン『天文学の新時代』（朝日新聞社）などがある。
岡明人（おか・あきひと）
朝日新聞事業開発本部幹事。一九四三年生まれ。東京大学工学部原子力工学科卒業。
辻篤子（つじ・あつこ）
朝日新聞アメリカ総局員。一九五三年生まれ。東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学分科卒業。
五十嵐道子（いがらし・みちこ）
朝日新聞東京本社科学部員。一九五八年生まれ。東京大学理学部天文学科卒業。
瀬川茂子（せがわ・しげこ）
朝日新聞「ＳＣＩａＳ」編集部員。一九六二年生まれ。東京大学理学部地学科卒業。

惑星へ（下）　朝日文庫

1998年３月15日　第１刷印刷
1998年４月１日　第１刷発行

著　者　カール・セーガン
監訳者　森　暁雄
発行者　川橋啓一
印刷製本　凸版印刷株式会社
発行所　朝日新聞社
〒104-8011 東京都中央区築地5-3-2
電話　03(3545)0131（代表）
編集＝書籍編集部　販売＝出版販売部
振替　00100-7-1730

定価はカバーに表示してあります

表紙・扉　伊藤鑛治　ISBN4-02-261229-0

●朝日文庫●

多重人格とは何か
朝日新聞社編
人格とは何だろうか？　また性格とはどう定義されるのか？　こんな問いに研究者たちが答える

狙われる日本――ペルー人質事件の深層
伊藤千尋
九六年末に起こった、ペルーの日本大使公邸人質事件。事件の背景を、元中南米特派員が緊急報告

沖縄から　米軍基地問題ドキュメント
沖縄タイムス社編
少女暴行事件から代理署名裁判、国の不法占拠。激動した沖縄の一年を、地元紙記事で振り返る

沖縄から　米軍基地問題の深層
沖縄タイムス社編
『米軍基地問題ドキュメント』の姉妹編。揺れ動く基地問題の根底に横たわる現実を深く検証する

建築探偵東奔西走
藤森照信
増田彰久
大学教授と建築写真家が数々の変わりダネ建築を紹介。カラー写真多数収録の四巻シリーズ第一作

建築探偵雨天決行
藤森照信
増田彰久
ユーモア溢れる語り口と華麗な写真で全国各地の豪邸、監獄、教会などを紹介。四巻シリーズ第二作

建築探偵神出鬼没
藤森照信
増田彰久
おもしろエッセイと豪華な写真で日本の洋風建築、ベトナムの名建築を紹介。四巻シリーズ第三作

建築探偵奇想天外
藤森照信
増田彰久
名推理とカラー写真でプラハの街並み、国会議事堂などの建物の謎に迫る！　四巻シリーズ第四作

●朝日文庫●

ボクを野球場に連れてって――プロ野球面白ガイド　網島理友
なんたってプロ野球は面白い。さあ、ビールを片手に球場へ出かけよう。野球に関するコラム集

モンガイカンの美術館　南伸坊
「自分にとって面白いモノとは？」門外漢の立場からゲージュツを語る異色の美術評論。図版多数収録

帝都復興せり！「建築の東京」を歩く1986～1997　松葉一清
関東大震災の復興期に出現した建築を集めた写真集を手がかりに、東京の原点を読者と探訪する

ルポルタージュ日本国憲法　工藤宣
施行五〇年を迎える日本国憲法。その制定過程や主要判例の実相を、練達のジャーナリストが追う

香港を極める　上村幸治
特派員時代の四年半、香港に暮らし、香港人を取材し続けてきた著者が〃香港の裏のウラ〃を披露

香港返還　揺れる若きエリートたち　小木哲朗
香港中文大学の卒業生たちの、香港返還を前にした様々な人生の苦悩と選択を描いたドキュメント

香港と中国　融合する華人経済圏　野村総合研究所（香港）有限公司編
「香港経済・文化圏」の拡大、中国の経済成長、東南アジアの華人財閥の台頭を分析し今後を展望

台湾発見　映画が描く「未知」の島　田村志津枝
〃近くて遠い島〃台湾の歴史・社会や人々の思いを、台湾映画紹介の先駆者が映画を通して読み解く

9784022612298

1920136007003

他の天体には、何が待っているのか？　私たち自身について何を教えてくれるのか？　そして、そこに行くことに何らかの意味があるのだろうか？　太陽系の各惑星へと飛んだボイジャー、ガリレオなどの探査機打ち上げで各種の実験を計画した著者が、宇宙に乗り出す人類の未来について詳しく語る。

ISBN4-02-261229-0 C0136 ¥700E

朝日新聞社　　定価：本体700円＋税